水力資源有効活用技術開発調査
報　告　書

総　　括　　版

平成 18 年度

平成19年3月

財 団 法 人　新エネルギー財団

（経済産業省　資源エネルギー庁　委託調査）

まえがき

我が国は，世界有数のエネルギー消費国であり，依然として一次エネルギー供給の８割以上を輸入に依存するという，極めて脆弱なエネルギー構造を持っている。このため，エネルギーセキュリティ面の観点から，エネルギーの安定供給を確保することは引き続き重要な政策課題である。

また，平成 17 年 2 月 16 日，気候変動枠組条約第 3 回締約国会議(COP3)で採択された「京都議定書」(1997)が，141 ケ国・地域（EU 連合含む）の批准により発効された。この中で我が国は，温室効果ガスの排出量を，2008 年から 2012 年の平均値で 1990 年に比べ，6%削減することを義務付けられている。しかし，最近の実績では基準年を逆に数%上回る状況にあるため，短期間のうちにより実効性の高い対策を講じていくことが喫緊の課題となっている。

このような目標の達成に当たっては，わが国においても「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」（いわゆる RPS 法）が施行され，本格的な取り組みがなされている。

再生可能エネルギーの中で「水力」は，設備利用率が高く，単位発電量あたりの CO_2 排出量も格段に少ないことから，今後の再生可能エネルギー開発政策の中核に位置づけられるべきエネルギーである。総合資源エネルギー調査会需給部会は，平成１３年７月の「長期エネルギー需給見通し」において，1990 年度の一般水力発電供給量 788 億 kWh に対して，2010 年度には 803 億 kWh が必要としている。

河川維持流量等放流設備，砂防ダム，農業用水利施設等を利用した発電や，水路式発電所に地下調整池を付加した発電は取水設備等，既存の設備を利用することができるため，新規開発に比べ環境負荷が小さい。しかし，これまでは経済性に劣る等の理由で開発されてこなかったため，経済性を向上させる技術開発を行うことにより，これらの地点の開発を促進することが可能となる。「水力資源有効活用技術開発調査」はこれらの地点を経済的に開発するため，平成１４年度から開始した技術開発調査で，「小水力資源有効活用技術開発調査」及び「地下調整池による水路式発電所増強技術開発調査」から構成されている。

本報告書は，平成１８年度に資源エネルギー庁の委託により（財）新エネルギー財団が実施した，「水力資源有効活用技術開発調査」の調査，検討結果を要約したものである。

本調査を実施するにあたっては，（財）新エネルギー財団に委員会および専門部会を設置し，本調査に関する基本的事項，具体的・専門的事項について審議した。

本調査の実施にあたりご指導，ご協力いただいた関係各位に対し厚くお礼を申し上げる次第である。

平成１９年３月

水力資源有効活用技術開発委員会　委員名簿

(平成18年度)

役名	氏 名	所 属 お よ び 職 名
委員長	村山　正純	財団法人　国際超電導産業技術研究センター 常務理事
委員	古谷　恵一	北海道電力㈱ 土木部　次長
委員	尾関　正典	中部電力㈱　発電本部　土木建築部　業務グループ長･部長
委員	末國　光彦	中国電力㈱　事業支援部門　マネージャー (水力)
委員	末沢　等	四国電力㈱　水力部　総括グループリーダー
委員	山中　豪俊	電源開発㈱　東日本支店　田子倉電力所　所長
委員	能見　和司	電気事業連合会　工務部長
委員	相馬　勲	公営電気事業経営者会議　専務理事

途中退任　坂本　容　北海道電力㈱土木部　次長

佛原　肇　中国電力㈱事業支援部門マネージャー (水力)

小水力発電部会　委員名簿

（平成18年度）

役名	氏　名	所　属　お　よ　び　職　名		
主査	山中　豪俊	電源開発㈱	東日本支店　田子倉電力所	所長
副主査	笠原　強造	東京電力㈱	信濃川電力所　土木建築グループ	副長
委員	細越　亮	東北電力㈱	土木建築部　水力土木グループ	主任
委員	大濱　隆司	九州電力㈱	土木部　土木計画･建設グループ	チーフ
委員	齋藤　恵吾	群馬県企業局	発電課	主任
委員	白石　達也	東京発電㈱	水力事業部　運営管理グループ	マネージャー
委員	大和　昌一	富士電機システムズ㈱	e･ソリューション本部　エネルギーソリューション統括部　営業技術部	担当部長
委員	安蒜　和浩	㈱明電舎	発電制御装置部　技術課	技師

地下調整池部会　委員名簿

(平成18年度)

役名	氏 名	所 属 お よ び 職 名		
主査	尾関　正典	中部電力(株)	発電本部　土木建築部	業務ｸﾞﾙｰﾌﾟ長･部長
委員	田畑　規志雄	北陸電力(株)	土木部　土木計画チーム	副課長
委員	林　三千夫	関西電力(株)	土木建築室　土木グループ	リーダー
委員	浅川　晴俊	山梨県企業局	電気課	課長補佐
委員	黒川　昌彦	東京発電 (株)	水力事業部　設備管理･開発グループ	マネージャー

目　　次

Ⅰ　総　括　事　項

１．調査概要 …… 1
２．小水力資源有効活用技術開発調査の概要 …… 1
３．地下調整池による水路式発電所増強技術開発調査の概要 …… 7

Ⅱ　小水力資源有効活用技術開発調査結果

Ⅱ－１　簡易発電システム設計マニュアル

第１章　概　要 …… １－１
第２章　調査・計画 …… ２－１
第３章　土木設備 …… ３－１
第４章　電気機械設備 …… ４－１
第５章　施工計画・工事工程 …… ５－１
第６章　概算工事費・経済性の評価…… ６－１
第７章　運転・保守 …… ７－１
第８章　関係法令・基準等 …… ８－１
第９章　助成制度 …… ９－１

Ⅱ－２　一般市販管による水圧管路技術基準（案）

第１節　総　則 …… 1
第２節　計画一般 …… 3
第３節　材　料 …… 13
第４節　主要耐圧部の設計 …… 17
第５節　付属設備 …… 45
第６節　製　作 …… 63
第７節　据付け …… 65
第８節　保守管理 …… 69

III　地下調整池による水路式発電所増強技術開発調査結果

III－１　地下調整池 開発計画マニュアル

第１章　一　般 …… １－１
第２章　調査・計画 …… ２－１
第３章　設　計 …… ３－１
第４章　施　工 …… ４－１
第５章　工事費 …… ５－１
第６章　経済性評価 …… ６－１
第７章　発電所の運転維持管理 …… ７－１

III－２　地下調整池 開発計画支援システム 説明書

１．システム概要 …… 1
２．プログラムのインストール …… 2
３．メニュー構成 …… 5
４．メイン画面 …… 6
５．ファイル・メニュー …… 7
６．編集・メニュー …… 11
７．表示・メニュー …… 14
８．ウインドウ・メニュー …… 15
９．ヘルプ・メニュー …… 16
10．地下調整池容量設定システム …… 17
11．地下調整池構造設定システム …… 21
12．工事費算定システム …… 24
13．運転パターン選定システム …… 31
14．経済性評価システム …… 42

Ⅰ　総　括　事　項

平成 18 年度「水力資源有効活用技術開発調査」の実施内容は，以下のとおりである。

１．調査概要

水力資源をエネルギー源として有効に活用するための技術開発に関する所要の調査・検討を行い，環境負荷の小さい水力発電の経済性向上を図り，水力開発促進に寄与することを目的とする。

調査は，河川維持流量等放流設備，砂防ダム，農業用水等からの流水を利用した「小水力資源有効活用技術開発調査」と，水路式発電所に地下調整池を付加した「地下調整池による水路式発電所増強技術開発調査」から構成されている。

なお，本調査を円滑かつ有効に進めるために，（財）新エネルギー財団に「水力資源有効活用技術開発委員会」及び以下の専門部会を設置し，調査，検討を実施した。

① 小水力発電部会

② 地下調整池部会

２．小水力資源有効活用技術開発調査の概要

２．１ 調査目的

「小水力資源有効活用技術開発調査」は，河川維持流量等放流設備，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道施設など，低落差で流量が小さくこれまで発電に利用されてこなかった領域を対象として,低コストで簡易な発電システム(以下,「簡易発電システム」という）の構築を目的とする。

本調査は平成 14 年度～18 年度にかけて実施された。調査の全体実施状況を表-1 に示す。

表-1　調査スケジュール

調査項目	14 年度	15 年度	16 年度	17 年度	18 年度	備　　考
基本構想の検討						
技術的検討・詳細調査						(平成18年度) 一般市販管による水圧管路技術基準(案)を策定
ケーススタディ						
実証試験要領の作成						
実例地点に関する調査・検討						
簡易発電システム 設計マニュアルの策定						

２．２ 調査の基本方針

調査の基本方針は，以下のとおりとした。

① 対象とする開発規模は 500kW 程度以下とする。

② 建設コストの低減を図る。

③ 運転・保守に要するコストの削減を図る。

④ 要求品質と保証品質を最低限度満足するシステム設計を行う。

２．３ 調査内容

調査全体の内容を以下に整理した。また，調査全体の展開図を図-1 に示す。

(1) 平成 14 年度の調査内容

平成 14 年度は，簡易発電システムの基本構想について検討し，コストダウンの可能性を確認した。さらに，「技術的検討・詳細調査」としてコストダウンに向けたる要素技術について基礎的な調査・検討を実施した。

(2) 平成 15 年度の調査内容

平成 15 年度は，簡易発電システム構築に向けた「技術的検討・詳細調査」として，要素技術，適用施設別コストダウンおよび監視・運用管理について調査・検討した。

また，「ケーススタディ」として 5 つの地点を選定し，そのうち 3 地点について在来設計と簡易発電システムでそれぞれ比較設計を行った。

(3) 平成 16 年度の調査内容

平成 16 年度は，「技術的検討・詳細調査」として，平成 15 年度に引続き要素技術，適用施設別コストダウンおよび監視・運用管理について，実例地点に対するモニタリングを含めた調査・検討を実施した。

また，「ケーススタディ」として前年度の残りの 2 地点と新たに選定した 1 地点について，在来設計と簡易発電システムとの比較設計を行った。2 ヵ年にわたるケーススタディの結果，簡易発電システムによってコスト（建設単価）が低減することを確認した。

さらに，簡易発電システムの実証に向け，各設備の機能を確認するために必要とされる試験項目を抽出するとともに，実証試験における確認事項・試験方法および評価方法を整理し，「実証試験要領(案)」を作成した。

(4) 平成 17 年度の調査内容

平成 17 年度は，簡易発電システム構築に向けた「技術的検討・詳細調査」として，一般市販管に関する調査検討を中心に検討を行い，「水門鉄管技術基準　FRP(M)水圧管

編」と比較する形で,「一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子」を作成した。さらに，水車等に関する海外機器製作者の技術調査を実施し，海外機器の導入についての可能性について確認した。

また,「実例地点に関する調査・検討」として，小水力発電導入地点のモニタリング調査および一般市販管，永久磁石発電機等の個別要素技術のデータ収集・分析・評価を実施した。

そのうえで,「簡易発電システム設計マニュアルの策定」として，調査初年度からの成果を整理し,「簡易発電システム設計マニュアルの骨子」を作成した。

(5) 平成 18 年度の調査内容

平成 18 年度は,「技術的検討・詳細調査」として，平成 17 年度でとりまとめた骨子をベースに検討を重ね，内容の精査・充実を図り「一般市販管による水圧管路技術基準（案)」をとりまとめた。

また，前年度に引き続いて「実例地点に関する調査・検討」を実施し，最新の事例について調査・検討するとともに，これまでの調査結果をとりまとめて「簡易発電システム設計マニュアル」の作成に反映させた。

そして,「簡易発電システム設計マニュアルの策定」として，5 年間にわたる調査を最終的にとりまとめ，コストダウンの実現に向けた「簡易発電システム設計マニュアル」を策定した。

図 - 1　小水力資源有効活用技術開発調査の調査展開図

２．４ 平成 18 年度の調査項目および調査結果

平成 18 年度の調査項目および結果を以下に整理した。

(1) 詳細調査・技術的検討

「一般市販管の水圧管路への適合に向けた基準の調査・検討」では，調査・検討の流れを整理するとともに，一般市販管として技術的に検討すべき項目を抽出し，その性能を確認するための試験方法を抽出・整理した。この検討作業により技術基準（案）の条項（規定事項）を明確にした。

次に,一般市販管の性能を確認するための各種試験が JIS 基準や協会基準,メーカー基準においてどのように規定され，必要な試験の全てに対応しているかを整理した。

あわせて，一般市販管を水圧管路として適用するにあたり要求される項目を管の基本性能として満足する部分（評価）と，設計（計画）で対応する部分（対応）に区分し，基本性能に対する根拠資料を整理することにより，水力発電所の水圧管路としての要求性能を満足することを確認した。

「一般市販管による水圧管路技術基準（案)」では，一般市販管に対するこれまでの調査・ 検討結果を踏まえ,一般市販管による水圧管路の計画一般, 材料, 設計, 製作, 据付け，保守管理にわたる技術基準(案)を立案した。

(2) 実例に関する調査・検討

「個別地点の実例に関する調査・検討」では，農業用水利施設（取水堰）を利用した実例地点として，京都府に存在する嵐山保勝会水力発電所（京都嵐山保勝会）について調査を行った。この発電所は，2mに満たない農業用取水堰を利用したものであり，逆潮流ありでの低圧連系システムや，海外製のサイフォン式水車を採用するなど，簡易発電システムの構築に向けて貴重な参考事例となった。

また，嵐山保勝会水力発電所建設に係る官庁協議をはじめ，平成 16 年に実施したモニタリング調査結果などを勘案し，「関係法令と簡易発電システムの関わり」として整理した。

「個別要素技術に関するデータ収集・分析および評価」では，浸透取水形式を採用している実例として，中国電力㈱周布川第一発電所の木戸谷川取水ダムについて調査を行い，取水状況と保守管理の対応などについて確認した。また，水圧管路にポリエチレン管を採用している群馬県桐生市（旧黒保根村）の利平茶屋発電所を調査し，2 年間を越える運用の中で問題がないことを確認した。

さらに，永久磁石発電機を採用している富山県南砺市（旧利賀村）の南砺市利賀ミニ水力発電所について調査を行い，機能的に問題のないことを確認するとともに，運用状況，保守管路の対応などについて確認した。

(3) 簡易発電システム設計マニュアルの策定

平成 14 年度からの成果を「簡易発電システム設計マニュアル」として，総合的にとりまとめた。（以下，「本設計マニュアル」という）

本設計マニュアルでは，河川維持流量等放流設備，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道施設など，低落差で流量が小さくこれまで発電に利用されてこなかった領域を対象として，低コストで簡易な発電システム（簡易発電システム）を説明するものであり，コスト低減に係る要素技術の考え方（設計），運転・保守および関係法令等を中心に，調査計画，施工，経済性評価及び助成制度についても概略を解説して，小力発電所の建設全般にわたって対応できるものとした。

また，巻末資料として，平成 14 年以降の調査・検討で得られた成果であるケーススタディ，モニタリング調査，永久磁石発電機システムの運転制御事例，一般市販管による水圧管路技術基準(案)，簡易発電システムにおける点検項目・頻度（案），本設計マニュアルをコンパクトにまとめた概要版などを添付した。

以上が「小水力資源有効活用技術開発調査」の平成 18 年度の調査結果であるが，本報告書では，主たる成果である「簡易発電システム設計マニュアル」および「一般市販管による水圧管路技術基準（案）」を添付し，統括版としてとりまとめた。

なお，マニュアルの巻末資料等については，平成 18 年度「小水力資源有効活用技術開発調査報告書」を参照されたい。

３．地下調整池による水路式発電所増強技術開発調査の概要

３．１ 調査目的

これまでの水路式水力発電所は，河川水をそのまま取水して発電しているため，ピーク対応の電源とはなっておらずベース電源として位置付けられている。

「地下調整池による水路式発電所技術開発調査」の目的は，夜間（オフピーク時）の河川水を新たに設置する地下調整池に貯留し，昼間のピーク時間帯にピーク発電を行う調整能力を流れ込み式水力発電所に付加するとともに，発電電力量の増加を図るものである。

本調査は，「効率的な水運用技術の開発」と「地下調整池構築技術の開発」及びこれらを組み合わせた「開発計画支援システム」を構築し，経済的な地下調整池の規模，運転パターンの設定が容易にできることを目的とする。

本調査は，平成 14 年度から平成 18 年度にかけて実施された。本調査全体の実施状況を表-2 に示す。

表-2　調査スケジュール

調査項目	14 年度	15 年度	16 年度	17 年度	18 年度	備　　考
基本構想の検討						
現状調査・技術検討						
ケーススタディ						
経済性評価方法の検討						
実証試験要領作成						
実効性の再検証						
既設地点への適用による本技術の効果の検証						ｱﾝｹｰﾄ結果のﾌｫﾛｰ
地下調整池 開発計画支援システムの構築						
地下調整池 開発計画マニュアルの策定						

３．２ 調査内容

調査全体の内容を以下に整理した。調査全体の展開図を図-2 に示す。

(1) 平成 14 年度の調査内容

平成 14 年度は，事前可能性調査の内容を整理し，今後の技術的課題，発電所の立地環境条件（新設、既設、単独、シリーズの別など）を再確認し，本調査の方向性を明確にした。地下調整池の構築技術の現状調査を行い，経済的に地下調整池を構築するための技術開発項目を抽出した。

(2) 平成 15 年度の調査内容

平成 15 年度は, 要素技術の検討として, 地下調整池の接続方式の違いによる構造的, 水理的課題の検討，シリーズの発電所の効率的な水運用方法および地下調整池構築において導入が見込まれる新技術の工費・工期低減効果，概算工事費算定フローの検討を実施した。

(3) 平成 16 年度調査内容

平成 16 年度は, 具体的地点におけるケーススタディによる課題の抽出および検討を実施した。さらに，実証試験のための試験要領を作成した。

(4) 平成 17 年度の調査内容

平成 17 年度は, 本調査により期待される技術開発効果を定量的に把握し検証することで，本調査の実効性を再検証した。実効性の確認後，開発計画支援システムおよび地下調整池・開発計画マニュアルの骨子を策定した。

(5) 平成 18 年度の調査内容

平成 18 年度は，平成 17 年度に実施した事業者へのアンケート結果のフォローを実施した。さらに、平成 17 年度までにとりまとめた成果をベースに協議・検討を重ね, 開発計画支援システムを構築するとともに，それらをとりこんだ地下調整池・開発計画マニュアルを策定した。

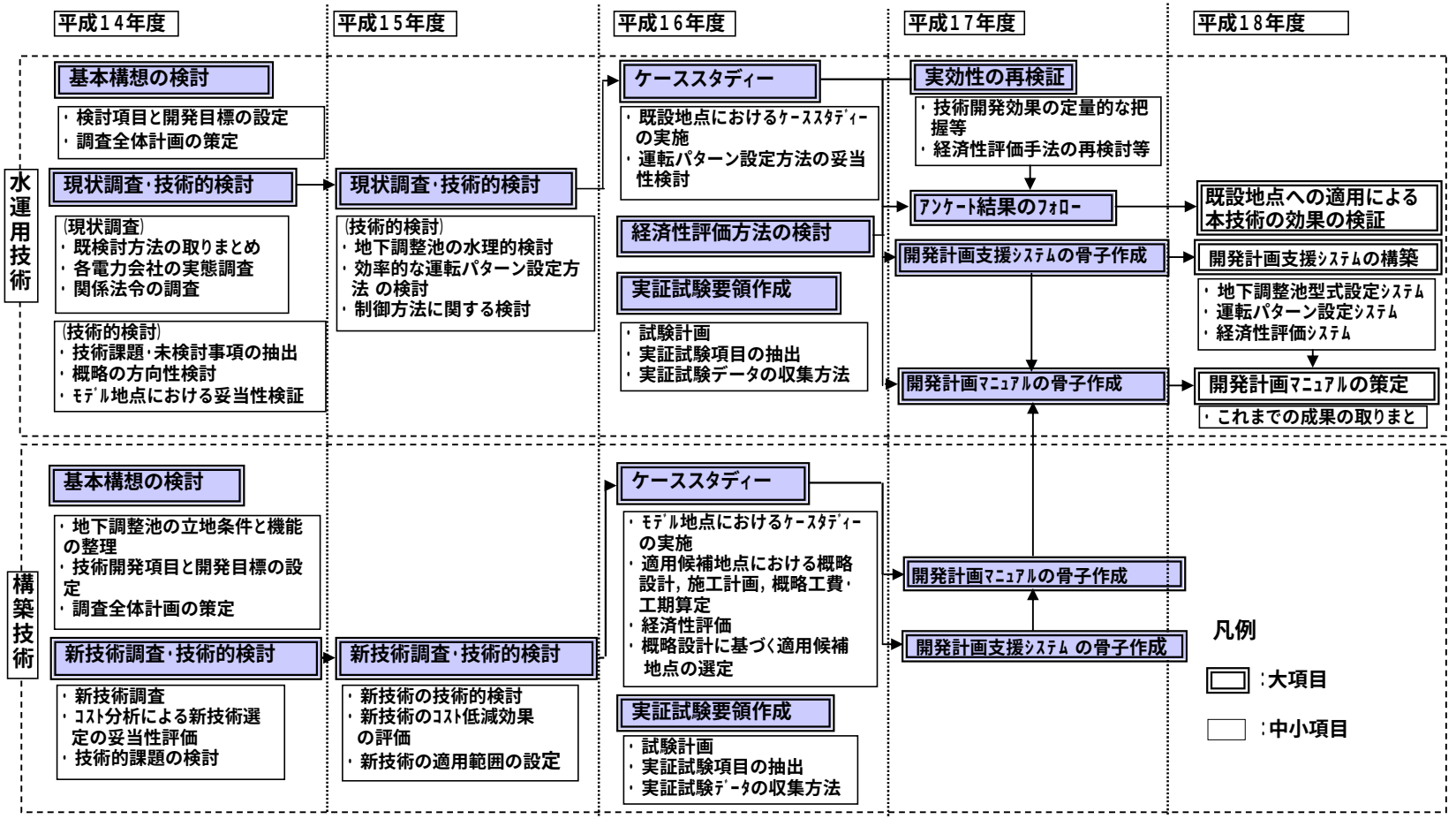


図 - 2　地下調整池による水路式発電所増強技術開発調査の調査展開図

３．３ 平成 18 年度の調査項目および調査結果

平成 18 年度の調査項目および結果を以下に整理した。

(1) 既設地点への適用による本技術の効果の検証

平成 17 年度に各事業者に実施したヒアリング調査結果を受けて, 平成 18 年度は事業者に対して既設地点への地下調整池の適用あるいは水運用技術の適用による本技術の効果の検証を実施した。

(2) 地下調整池 開発計画支援システムの構築

平成 17 年度に作成した開発計画支援システムの骨子をベースに、

① 地下調整池型式選定システム
② 運転パターン設定システム
③ 経済評価システム

の 3 システムを構築した。さらにこれらのシステムを連携し開発計画支援システムとして統合した。

(3) 地下調整池 開発計画マニュアルの策定

平成 17 年度に作成した地下調整池 開発計画マニュアルの骨子をベースに，地下調整池の基本概念，本技術により期待される効果をはじめ，調査，設計，施工計画，工事費，経済性評価，発電所の運転・維持管理についてまとめた。

また，開発計画支援システム説明書，ケーススタディ結果などを本マニュアルの巻末資料として添付した。

以上が「地下調整池による水路式発電所増強技術開発調査」の平成 18 年度の調査結果であるが, 本報告書では, 主たる成果である「地下調整池 開発計画マニュアル」および「開発計画支援システム説明書」を添付し，統括版としてとりまとめた。

なお，マニュアルの巻末資料等については，平成 18 年度「地下調整池による水路式発電所増強技術開発調査報告書」を参照されたい。

Ⅱ　小水力資源有効活用技術開発調査結果

簡易発電システム設計マニュアル

平成 19 年 3 月

財団法人 新エネルギー財団

(経済産業省　資源エネルギー庁　委託調査)

ま　え　が　き

小水力資源有効活用技術開発調査（以下,「本調査」という）は，河川維持流量等放流設備，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道施設など，低落差で流量が小さくこれまで発電に利用されてこなかった領域を対象として，低コストで簡易な発電システム(以下,「簡易発電システム」という)を構築することを目的とし，平成 14 年度から平成 18 年度までの 5 ヵ年にわたって実施された。

本調査で実施した 5 ヵ年の調査スケジュールおよび調査内容の概要は，以下に示すとおりであり，『簡易発電システム設計マニュアル』（以下,「本設計マニュアル」という）はその成果として，設計方法を中心に運転・保守，関係法令や技術基準等に関する事項等を含めて取りまとめたものである。

表－1　調査スケジュール

調査項目	14 年度	15 年度	16 年度	17 年度	18 年度	備　　考
基本構想の検討						
技術的検討・詳細調査						(平成18 年度) 一般市販管による水圧管路技術基準（案）を策定
ケーススタディ						
実証試験要領の作成						
実例地点に関する調査・検討						
簡易発電システム 設計マニュアルの策定						

(1) 平成 14 年度の調査内容

平成 14 年度は，簡易発電システムの基本構想について検討し，コストダウンの可能性を確認した。さらに,「技術的検討・詳細調査」としてコストダウンに向けた要素技術について基礎的な調査検討を実施した。

(2) 平成 15 年度の調査内容

平成 15 年度は，簡易発電システム構築に向けた「技術的検討・詳細調査」として，要素技術，適用施設別コストダウンおよび監視・運用管理について調査・検討した。

また,「ケーススタディ」として 5 地点を選定し，そのうち 3 地点について在来設計と簡易発電システムとの比較設計を行った。

(3) 平成 16 年度の調査内容

平成 16 年度は,「技術的検討・詳細調査」として，平成 15 年度に引続き簡易発電システム構築に向けた要素技術, 適用施設別コストダウンおよび監視・運用管理について調査・検討を実施した。

また,「ケーススタディ」として前年度の残りの 2 地点と新たに選定した 1 地点について在来設計と簡易発電システムとの比較設計を行った。2 ヵ年にわたるケーススタディの結果，簡易発電システムによってコスト（建設単価）が低減することを確認した。

さらに，簡易発電システムの実証に向け，設備の機能を確認するために必要とされる試験項目を抽出するとともに，実証試験における確認事項・試験方法および評価方法を整理して,「実証試験要領書(案)」を作成した。

(4) 平成 17 年度の調査内容

平成 17 年度は，簡易発電システム構築に向けた「技術的検討・詳細調査」として，一般市販管に関する調査検討を中心に検討を行い,『水門鉄管技術基準　FRP(M)水圧管編』と比較する形で,『一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子』を作成した。さらに，水車等に関する海外機器製作者の技術調査を実施し，海外機器の導入についての可能性について確認した。

また,「実例地点に関する調査・検討」として，小水力発電導入地点のモニタリング調査および一般市販管，永久磁石発電機等の個別要素技術のデータ収集・分析・評価を実施した。

そのうえで,「簡易発電システム設計マニュアルの策定」として，調査初年度からの成果を整理し,『簡易発電システム設計マニュアルの骨子』を作成した。

(5) 平成 18 年度の調査内容

平成 18 年度は,「技術的検討・詳細調査」として，平成 17 年度でとりまとめた骨子をベースに検討を重ね, 内容の精査・充実を図り『一般市販管による水圧管路技術基準（案)』をとりまとめた。

また，前年度に引き続いて「実例地点に関する調査・検討」を実施し，最新の事例について調査・検討するとともにこれまでの調査結果をとりまとめ,『本設計マニュアル』の作成に反映させた。

そして,「簡易発電システム設計マニュアルの策定」として，5 年間にわたる調査を最終的にとりまとめ，コストダウンの実現に向けた『本設計マニュアル』を策定した。

水力資源有効活用技術開発調査

小水力発電部会　委員名簿

（平成１８年度）

役名	氏　名	所　属　お　よ　び　職　名
主査	山中　豪俊	電源開発㈱　東日本支店　田子倉電力所　所長
副主査	笠原　強造	東京電力㈱　信濃川電力所　土木建築グループ　副長
委員	細越　　亮	東北電力㈱　土木建築部　水力土木グループ　主任
委員	大濱　隆司	九州電力㈱　土木部　土木計画・建設グループ　チーフ
委員	斉藤　恵吾	群馬県企業局　発電課　主任
委員	白石　達也	東京発電㈱　水力事業部　運営管理グループ　マネージャー
委員	大和　昌一	富士電機システムズ㈱　e‐ソリューション本部 エネルギーソリューション統括部　担当部長 営業技術部
委員	安蒜　和浩	㈱明電舎　発電制御装置部　技術課　技師

本マニュアルは,平成 14 年度から 18 年度にわたり,資源エネルギー庁の委託により(財)新エネルギー財団が実施した「水力資源有効活用技術開発調査」のうちの「小水力資源有効活用技術開発調査」の成果を取りまとめたものである。

本調査を実施するにあたっては,(財) 新エネルギー財団に上記専門部会を設置し, 本調査に関する基本的事項, 具体的・専門的事項について審議した。

(3) 平成 16 年度の調査内容

平成 16 年度は,「技術的検討・詳細調査」として，平成 15 年度に引続き簡易発電システム構築に向けた要素技術, 適用施設別コストダウンおよび監視・運用管理について調査・検討を実施した。

また,「ケーススタディ」として前年度の残りの 2 地点と新たに選定した 1 地点について在来設計と簡易発電システムとの比較設計を行った。2 ヵ年にわたるケーススタディの結果，簡易発電システムによってコスト（建設単価）が低減することを確認した。

さらに，簡易発電システムの実証に向け，設備の機能を確認するために必要とされる試験項目を抽出するとともに，実証試験における確認事項・試験方法および評価方法を整理して,「実証試験要領書(案)」を作成した。

(4) 平成 17 年度の調査内容

平成 17 年度は，簡易発電システム構築に向けた「技術的検討・詳細調査」として，一般市販管に関する調査検討を中心に検討を行い,『水門鉄管技術基準　FRP(M)水圧管編』と比較する形で,『一般市販管による水圧管路技術基準(案)の骨子』を作成した。さらに，水車等に関する海外機器製作者の技術調査を実施し，海外機器の導入についての可能性について確認した。

また,「実例地点に関する調査・検討」として，小水力発電導入地点のモニタリング調査および一般市販管，永久磁石発電機等の個別要素技術のデータ収集・分析・評価を実施した。

そのうえで,「簡易発電システム設計マニュアルの策定」として，調査初年度からの成果を整理し,『簡易発電システム設計マニュアルの骨子』を作成した。

(5) 平成 18 年度の調査内容

平成 18 年度は,「技術的検討・詳細調査」として，平成 17 年度でとりまとめた骨子をベースに検討を重ね, 内容の精査・充実を図り『一般市販管による水圧管路技術基準（案)』をとりまとめた。

また，前年度に引き続いて「実例地点に関する調査・検討」を実施し，最新の事例について調査・検討するとともにこれまでの調査結果をとりまとめ,『本設計マニュアル』の作成に反映させた。

そして,「簡易発電システム設計マニュアルの策定」として，5 年間にわたる調査を最終的にとりまとめ，コストダウンの実現に向けた『本設計マニュアル』を策定した。

簡易発電システム設計マニュアル　目次

第１章　概　要

１．１　目　的 ..... 1－1
１．２　適用範囲 ..... 1－2
１．３　対象施設 ..... 1－4
１．４　基本構想 ..... 1－6
　１．４．１　基本的な設計の流れ ..... 1－6
　１．４．２　要素技術 ..... 1－7
１．５　コストダウン要素および要素技術の採用によるコストダウン効果 ..... 1－9

第２章　調査・計画

２．１　調　査 ..... 2－1
２．２　計　画 ..... 2－1

第３章　土木設備

３．１　取水設備 ..... 3－1
　３．１．１　取水方式の種類 ..... 3－2
　３．１．２　取水方式の選定 ..... 3－8
　３．１．３　設計に関する基本事項 ..... 3－13
３．２　水圧管路 ..... 3－14
　３．２．１　対象管種 ..... 3－14
　３．２．２　一般市販管による水圧管路技術基準(案) ..... 3－19
３．３　発電所基礎・建屋 ..... 3－20
　３．３．１　法的要件等 ..... 3－20
　３．３．２　発電所基礎・建屋の形式 ..... 3－23
　３．３．３　設計に関する基本事項 ..... 3－25
３．４　その他設備 ..... 3－26
３．５　コストダウンの要素 ..... 3－28
　３．５．１　各施設の要素技術適合性 ..... 3－28
　３．５．２　コストダウンの要素 ..... 3－29
　３．５．３　各要素技術によるコストダウン ..... 3－30

第４章　電気機械設備

４．１　水　車 ..... 4－1
　４．１．１　水車の分類 ..... 4－2
　４．１．２　水車形式の選定 ..... 4－2
　４．１．３　水車の設置方式 ..... 4－7
４．２　発電機 ..... 4－10
　４．２．１　発電機の種類 ..... 4－10
　４．２．２　発電機の選定 ..... 4－11
　４．２．３　発電機種類別システム構成比較 ..... 4－15
　４．２．４　永久磁石発電機の導入について ..... 4－18
４．３　制御・保護装置 ..... 4－25
　４．３．１　制御・保護装置の基本仕様等 ..... 4－25
　４．３．２　簡易制御，保護装置に関する技術検討 ..... 4－34
４．４　その他設備 ..... 4－36
４．５　コストダウンの要素 ..... 4－41
　４．５．１　各要素技術によるコストダウン ..... 4－41
　４．５．２　永久磁石発電機システムの経済性 ..... 4－47

第５章　施工計画・工事工程

５．１　施工計画 ..... 5－1
５．２　工事工程 ..... 5－1

第６章　概算工事費・経済性の評価

６．１　概算工事費 ..... 6－1
６．２　経済性の評価 ..... 6－1

第７章　運　転・保　守

７．１　運　転（監視・運用） ..... 7－1
　７．１．１　監視方式の合理化 ..... 7－2
　７．１．２　簡易発電システムの監視項目 ..... 7－6
　７．１．３　監視業務の外部委託化 ..... 7－8
７．２　保　守（点検・管理） ..... 7－9
　７．２．１　土木設備 ..... 7－10
　７．２．２　電気設備 ..... 7－17

第８章　関係法令・基準等

８．１　法令・基準および規程 ..... 8－1
８．１．１　関係法令 ..... 8－3
８．１．２　関係技術基準・規程 ..... 8－7
８．１．３　機器簡素化による合理化と関係法令・基準等 ..... 8－16
８．１．４　適用施設別関係法令 ..... 8－27
８．２　適用施設別手続き ..... 8－38

第９章　助成制度

９．１　主な助成制度 ..... 9－1
９．２　地方債等 ..... 9－2

巻末資料

巻末資料－１　各適用施設における標準的な落差と流量の範囲
巻末資料－２　一般市販管に関する検討資料
巻末資料－３　取水設備の課題と対応
巻末資料－４　ケーススタディ
巻末資料－５　モニタリング調査
巻末資料－６　水車の開発動向
巻末資料－７　発電機の開発動向
巻末資料－８　水車等に関する海外機器製作者の技術調査
巻末資料－９　永久磁石発電機システムの運転制御事例
巻末資料－10　一般水力発電設備土木構造物の点検内容事例
巻末資料－11　点検対象機器別点検頻度表
巻末資料－12　一般市販管による水圧管技術基準(案)
巻末資料－13　簡易発電システム設計マニュアル概要版
巻末資料－14　電気事業法の届出および河川法に係る許可申請事例等
巻末資料－15　参考資料

第1章　概　要

１．１　目　的

本設計マニュアルは，河川維持流量等放流設備，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道施設の水など，落差・流量が小さくこれまで発電に利用されてこなかった領域を対象として，低コストで簡易な発電システム（以下,「簡易発電システム」という）による設計手法を示し，小水力発電の開発促進に資することを目的とする。

【解説】

水力発電は，長期間にわたり発電可能であるばかりでなく，再生可能・純国産・クリーンな電源でもあり，我が国のエネルギー供給における重要な役割を果たしてきた。

水力発電は，わが国の 110 年以上にわたる水力発電の歴史の中で，果たす役割も時代背景に応じて変化し，オイルショック以前は急速に増大する電力需要を満たすために大規模発電を中心に，オイルショック以降は石油に替わる貴重なエネルギーの一環として，開発されてきた。現在，大規模開発に適した地点の建設が少なくなるなかで，これからは中小規模の水力発電の開発が中心になりつつある。

我が国は，豊富な水資源に恵まれ，これら中小規模の開発に適した地域はまだまだ残されており，その開発は貴重な純国産エネルギーの確保という面および地球環境問題の解決等の様々な観点から，大きな力を発揮するものと考えられている。さらに，大いなる自然の恵みである"水力"の利用は発電のみに留まらず，水力発電を核に地場産業の創出・活性化に努めている市町村もあり，地域の自立的な発展に役立つ大きな可能性を秘めている。

このような背景のもと本設計マニュアルは，河川維持流量等放流設備，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道施設の水など，落差・流量が小さく，経済性に乏しいため，これまで発電に利用されてこなかった領域を対象として，コストダウンにつながる要素技術，設計手法，運転・保守面での手法等を示すことにより，小水力発電の開発促進を目的とする。

なお，小水力発電の検討にあたり，本設計マニュアルで説明がされていない事項については，表 1−1 に示すガイドブック等を参照されたい。

表 1−1　ガイドブック等

図　　書　　名	発　行 (改訂年月)	発行者
ハイドロバレー計画 ガイドブック	平成 17 年 3 月	資源エネルギー庁 財団法人新エネルギー財団
水力発電計画 工事費積算基準	平成 17 年 3 月	資源エネルギー庁 財団法人新エネルギー財団
中小水力発電 ガイドブック　新訂 5 版	平成 16 年 5 月	財団法人新エネルギー財団 水力本部
マイクロ水力発電 導入ガイドブック	平成 15 年 3 月	新エネルギー・産業技術総合 開発機構
農業用水利用施設 小水力発電施設 計画設計技術マニュアル	平成 7 年 12 月	農林水産省構造改善局 建設部建設課・水利課
発電水力演習（第 9 版）	平成 9 年 4 月	(著者)千秋信一 (出版)学献社

注；詳細は「巻末資料−15 参考資料」に示す。

１．２　適用範囲

本設計マニュアルは，開発規模 500kW 程度以下の水力発電所に適用する。

【解説】

本設計マニュアルは，河川維持流量等放流設備，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道施設の水など，落差・流量が小さく，経済性に乏しいため，これまで発電に利用されてこなかった領域を対象として，コストダウンにつながる要素技術，設計手法，運転・保守面での手法等を示すことにより，低コストで簡易なシステムを構築するものである。

上記 5 施設における水力発電の賦存状況は，既往データから各施設数を整理し，それぞれの標準的な落差と流量を設定して推定した結果，図 1−1 に示すとおりとなる（詳細は巻末資料－１を参照)。

これらの結果を見ると，各施設の賦存状況は概ね 500kW 以下になっていることから，本設計マニュアルの適用範囲は，500kW 程度以下とした。

なお，後述する要素技術の採用によるコストダウンは，施設の開発規模とは無関係に対応可能であり，500kW 以上の発電所にも適用可能とする。

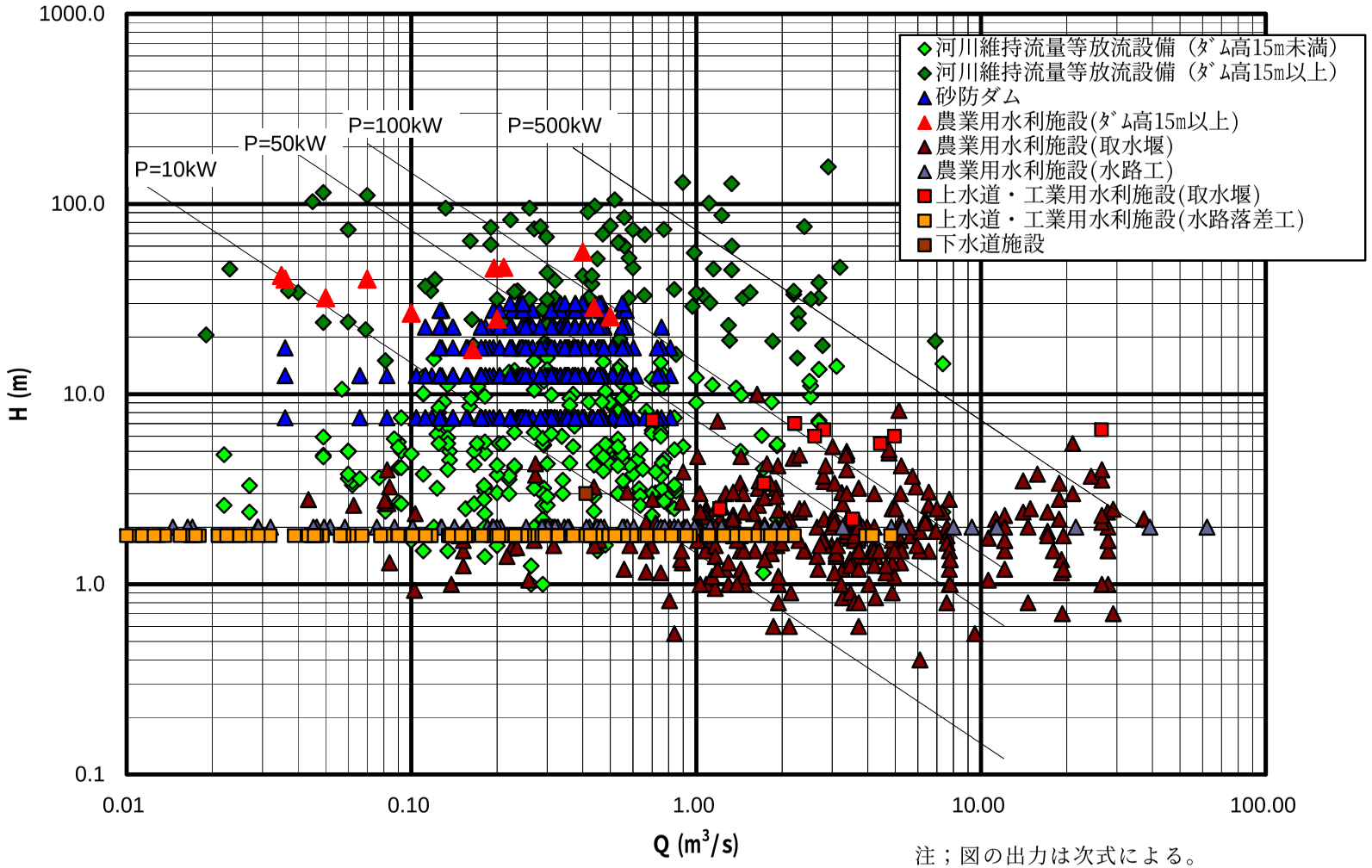


図 1－1 落差・流量賦存状況

注；図の出力は次式による。
Ｐ＝9.8×Ｑ×Ｈ×η （η＝0.7）
サンプル地点をプロットした。
※２；５m間隔に設定した落差ごとにプロットした。
※３；平均落差に対して流量をプロットした。

１．３　対象施設

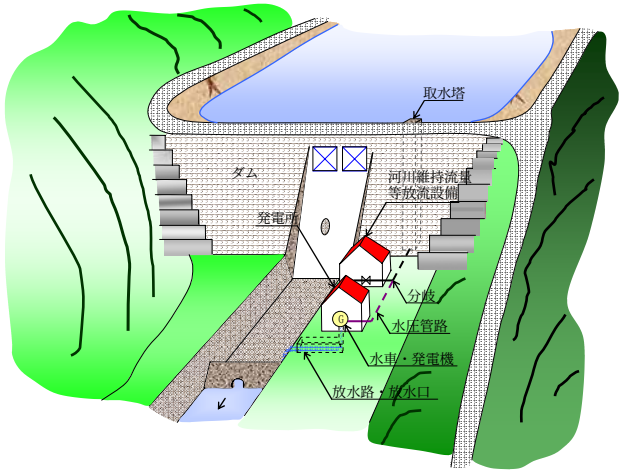
本設計マニュアルで対象とする施設は,以下の 5 施設とする。
① 河川維持流量等放流設備
② 山間部における砂防ダム
③ 農業用ダム・取水堰および水路落差工で構成される農業用水利施設
④ 上水道・工業用水利施設
⑤ 下水道施設

【解説】

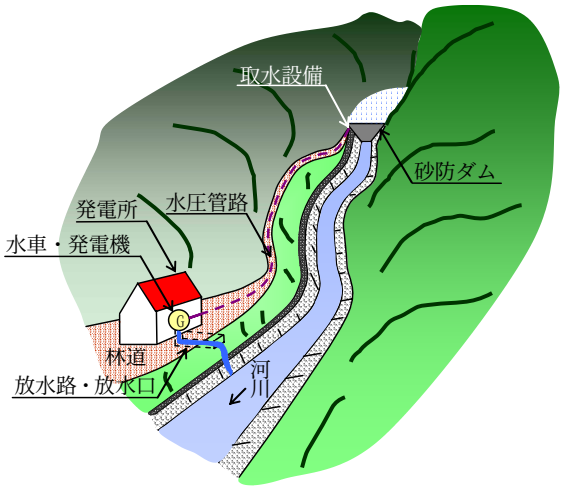
本設計マニュアルは，これまで発電に利用されてこなかった落差・流量の小さい領域を対象として，コストダウンにつながる要素技術，設計手法，運転・保守面での手法等を示すことにより，低コストで簡易なシステムを構築するものである。

このことを念頭におき，対象施設は落差・流量が小さく経済性に乏しいため，これまで発電に利用されてこなかった領域の施設として，上記の５つの施設を選定した（図 1−2 参照)。

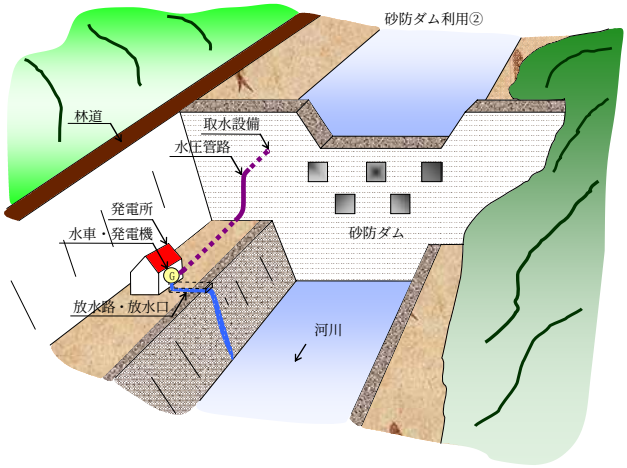
なお，後述する要素技術の採用によるコストダウンは，施設の種類とは無関係に対応可能であり，上記以外の施設（山間小河川（渓流)，養魚場関連施設および河川管理施設（水門，堰等）等）にも適用可能とする。



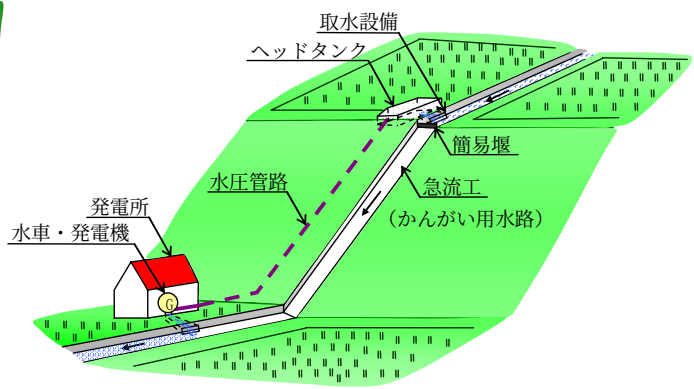
河川維持流量等放流設備の利用



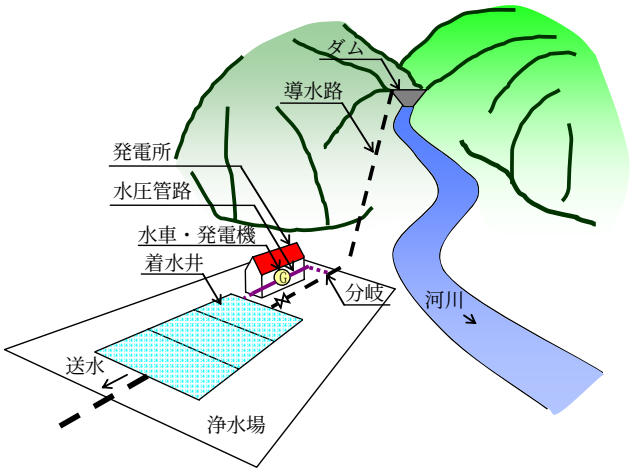
砂防ダムの利用(1)



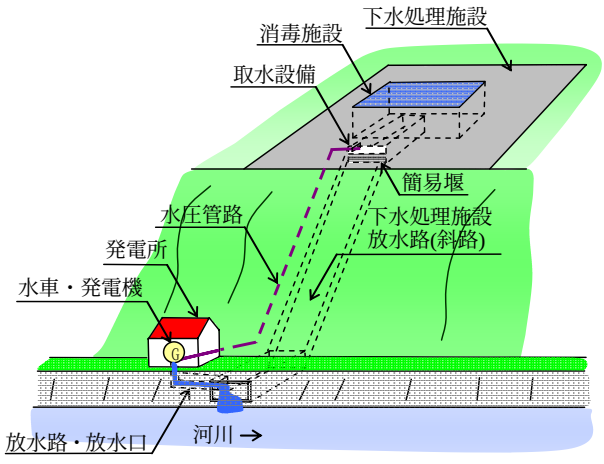
砂防ダムの利用(2)



農業用水利施設の利用



上水道・工業用水利施設の利用



下水道施設の利用

図 1－2　対象施設

１．４　基本構想

１．４．１　基本的な設計の流れ

本設計マニュアルによる設計の流れは,一般的な水力発電計画と同様であるが, 各施設の検討において簡易発電システムの要素技術を適用し,コストダウンを図るものとする。

【解説】

基本的な設計の流れを，図 1－3 に示す。なお，本設計マニュアルでは図 1－3 に示す①～⑤の項目を想定したものである。

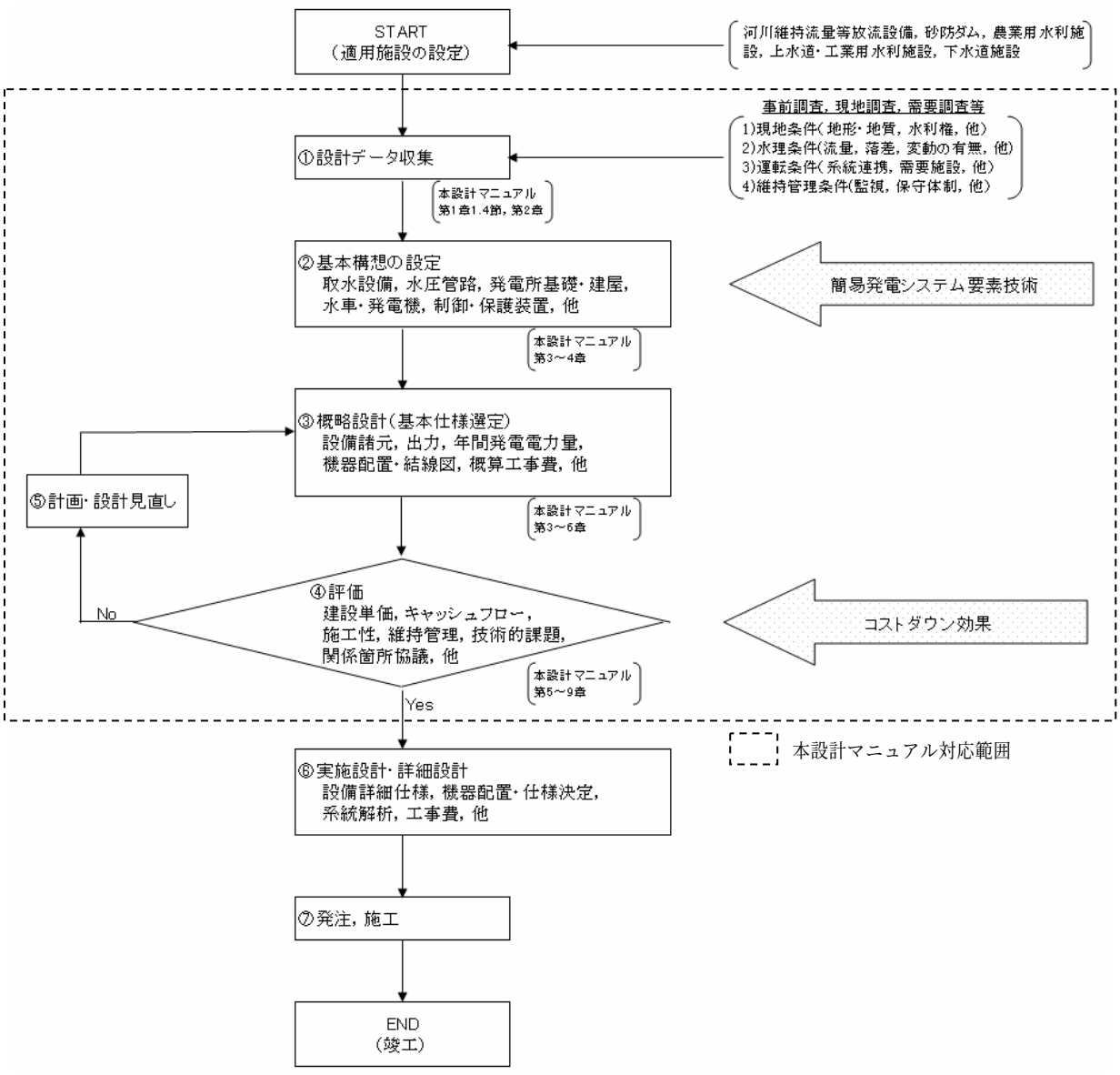


図 1－3 簡易発電システム　基本的な設計の流れ

１．４．２　要素技術

本設計マニュアルでは，水力発電所の計画・設計・更新等にあたり，本設計マニュアルで解説する要素技術の適用によるコストダウンについて，検討するものとする。
ここで対象とする要素技術とは,以下の設備に対応した技術を示す。
① 土木設備；　取水設備，水圧管路，発電所基礎・建屋
② 電気設備；　水車，発電機，制御・保護装置

【解説】

本設計マニュアルで対象とする要素技術は以下のとおりであり，それぞれ詳細は第３章および第４章で詳述する。

なお，上記の設備以外でも，簡易な監視装置の採用や電気主任技術者の他地点との兼務，ダム水路主任技術者と電気主任技術者の兼務等，トータルコストの低減に繋がる設備・対応については，関連法令と発電所全体の機能と安全性に影響を与えないことに配慮したうえ，積極的に取り入れてよい。

(1) 土木設備

a 取水設備

簡易発電システムにおける取水方式は,表 1−2 に示すものがあげられ,どの方式(要素技術）を採用するかは，現地状況，適用施設（河川維持流量等放流設備，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道施設）の対象構造物，取水規模等から適切な方式を選定したうえで，ランニングコストを含め，総合的にコストダウンに繋がるものとする。

表 1−2　簡易発電システムにおける取水方式の例

取水方式	取水規模※
浸透水	小流量
越流水付着	
集水井	
水クッション	小，中流量
バースクリーン	中，大流量
嵩上げ	
水路落差工	
横取り	小～大流量
堤体穴開け	
ゲート穴開け	
既設管分岐	
サイフォン	

※；取水規模は最大使用水量を示し，小流量は 0.1㎥/s 未満，中流量は 0.1～1.0㎥/s 未満，大流量は 1.0㎥/s 以上を目安とする。

b 水圧管路

簡易発電システムにおける水圧管路として利用する一般市販管は,表 1−3 に示す 3 種類を使用することができ，これら一般市販管（要素技術）の採用にあたっては,「一般市販管による水圧管路技術基準(案)」（巻末資料−12）に準じることとする。

また，どの一般市販管を採用するかは，経済性，当該地点の特性や施工性，維持管理のほか，各管種の特性を総合的に検討して決定する。

表 1−3　簡易発電システムにおける一般市販管

管　材　名
硬質塩化ビニル管（塩ビ管）
ポリエチレン管（ポリ管）
耐圧ポリエチレンリブ管[ハウエル管](リブ管)

C 発電所基礎・建屋

簡易発電システムにおける発電所基礎・建屋は，それぞれの機能の合理化によりコストダウンを図るとともに，表 1−4 に示す形式（要素技術）等から，法的要件の満足と使用環境を考慮し，適切な形式を採用する。

表 1−4　簡易発電システムにおける発電所基礎・建屋の形式の例

項　目	形　式
発電所基礎	直接基礎
	ケーソン基礎
	杭基礎
水車，発電機基　礎	コンクリート（＋形鋼）
	形　鋼
	ゲート等による支持
	省　略
建　屋	天井クレーン省略（梁やフックのみ設置等）
	合理化建屋（屋根取外し可能）
	簡易型建屋
	建屋省略
	既設建物利用

(2) 電気設備

a 水車

簡易発電システムにおける水車形式は，水車の構造，適用範囲，諸特性を考慮し，開発動向を踏まえ，落差と流量を基本諸元として，水車形式選定図（図 4−2 参照）か

ら選定する。

b 発電機

簡易発電システムへ適用可能な発電機は，同期発電機，誘導発電機，永久磁石発電機および直流発電機があり，その中でも簡易発電システムへの適用が望ましいのは，誘導発電機・永久磁石発電機と考えられる。

発電機の採用にあたっては，その開発動向や課題，方向性を調査し，問題点を抽出し整理するとともに，運転条件（自立運転，系統連系運転）・保守性および経済性（回路構成を考慮したシステム全体で評価）を考慮して選定する。

c 制御・保護装置

簡易発電システムへ適用可能な制御・保護装置は，適用施設や地点特性，発電所出力に負う要素が少なく，基本的に仕様を満足できる汎用品を組み合せることによるコストダウンの実現性が高いことから，汎用的な一般産業用 PLC を適用する。

１．５　コストダウン要素および要素技術の採用によるコストダウン効果

各設備のコストダウン要素には以下のものがあげられ，要素技術の採用は在来設計と比較してコストダウン効果が期待できる。

表 1−5　各設備のコストダウン要素

設備		コストダウン要素
土木設備		
	取水設備	取水地点の条件に適合した取水形式の選択によるランニングコスト削減。
	水圧管路	一般市販管の採用によるイニシャルコスト・ランニングコストの削減。
	発電所基礎・建屋	基礎の合理化，建屋の簡略化・省略によるイニシャルコスト削減。
	その他	沈砂池，ヘッドタンク，余水吐，除塵設備などの省略によるイニシャルコスト削減。
電気機械設備		
	水車	落差と流量を基本諸元として水車形式選定図から選定。 入口弁，調速装置等の省略又は簡素化によるイニシャルコスト削減。
	発電機	運転条件等を考慮して，誘導発電機又は永久磁石発電機の採用によるイニシャルコスト削減。
	制御・保護装置	一般産業用 PLC の採用によるイニシャルコスト削減。
	その他	水車，発電機，制御・保護装置の標準製品（パッケージ製品）の採用によるイニシャルコスト削減。 地点特性を効果的に機器仕様へ反映し，年間発電電力量の減少を抑制。 出力 50kW で永久磁石発電機システムの採用を検討。

【解説】

(1) 土木設備

土木設備におけるコストダウン要素には上記に示すものがあげられ，以下の事項を踏まえてコストダウンを図る。

① 各適用施設（河川維持流量等放流設備，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道施設）に対する要素技術の適合性を確認する。

② 各適用施設の特性に応じたコストダウンの要素を整理し，その可能性を検討する。

③ 各要素技術に必要とされる機能と性能を考慮したうえ,イニシャルコストとランニングコストを十分に評価したうえ,トータルコストの低減を図る。

なお，詳細は本設計マニュアル第３章に示す。

(2) 電気機械設備

電気機械設備におけるコストダウン要素には，上記のものがあげられ，以下の事項を踏まえてコストダウンを図る。

① 入口弁、調速装置等の省略又は簡素化は，関係法令・基準等との関係を整理する。

② 運転条件（自立運転、系統連系運転），保守性を考慮して機器を選定する。

③ 経済性は機器単品ごとではなく，システム全体として評価する。

④ 機器の屋外設置等，土木設備との協調が取れた計画設計が必要である。

なお，詳細は本設計マニュアル第４章に示す。

(3) コストダウン効果

在来設計と要素技術を導入した簡易発電システムのイニシャルコストに対する経済性を比較したケーススタディでは，表1−6に示すように，簡易発電システムのコストダウン効果が確認された。

なお，ケーススタディの詳細は巻末資料－４に示す。

表 1−6　ケーススタディにおけるコストダウン効果

項　目	A地点		B地点		C地点		D地点		E地点		F 地点	
	在来設計	簡易発電	在来設計	簡易発電	在来設計	簡易発電	在来設計	簡易発電	在来設計	簡易発電	在来設計	簡易発電
施設区分	河川維持流量等放流設備		河川維持流量等放流設備		砂防ダム		砂防ダム		下水道		工業用水利施設(湧水)	
最大使用水量 (m^3/s)	4.0		0.175		0.036		0.0456		0.20		0.21	
有効落差 (m)	12.89	10.65	9.26	9.58	35.66	32.71	67.0	64.45	11.15	11.68	85.77	87.74
最大出力 (kW)	400	290	11.0	11.0	9.0	8.0	21.5	20.0	13.5	14.0	130	130
取水方式	既設管分岐	既設管分岐	横取	サイフォン	横取	浸透水	浸透水	浸透水	横取 (コンクリート)	横取 (角落しゲート)	横取	横取
水圧管路	鋼管	鋼管	鋼管	耐圧ポリエチレンリブ管	FRPM 管	塩ビ管	鋼管	高密度ポリエチレン管	FRP 管	塩ビ管	FRPM 管・ダグタイル管	塩ビ管・ダグタイル管
発電所基礎・建屋	地上式	既存建屋利　用	半地下式	省略	地上式	地上式	半地下式	省略	半地下式	省略	地上式	地上式
水車形式	S 型チューブラ	横軸固定羽根プロペラ	横軸固定羽根プロペラ	同左	ペルトン	ポンプ逆転	ペルトン	同左	クロスフロー	同左	ペルトン	ポンプ逆転
発電機	誘導発電機	同左	誘導発電機	永久磁石発電機	誘導発電機	永久磁石発電機	誘導発電機	永久磁石発電機	誘導発電機	永久磁石発電機	誘導発電機	永久磁石発電機
保護・制御	一体形制御盤	同左	一体形制御盤	汎用 PLC	一体形制御盤	汎用 PLC	一体形制御盤	汎用 PLC	一体形制御盤	汎用 PLC	一体形制御盤	汎用 PLC
建設単価の削減率(%)※	35		41		12		40		30		10	

※：在来設計の建設単価に対して簡易発電システムを採用した場合の建設単価削減率＜　＝(1-簡易発電システム建設単価/在来設計建設単価)×100　＞

第２章　調査・計画

２．１　調　査

簡易発電システムを設計する際は，発電事業の目的，適用施設，現地状況に合わせて必要な調査を選定して実施する。なお，主な調査には以下のものがある。

① 事前調査（既存資料の収集）
② 現地調査（現地踏査，流量測定，地形調査，地質調査，補償関係調査，環境調査，送配電線調査）
③ 需要調査（自家用発電設備設置者の場合）

【解説】

簡易発電システムを設計する際は，発電事業の目的（一般供給および卸供給，自家消費），適用施設（河川維持流量等放流設備，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道施設），現地状況に合わせて必要な調査を選定し，図 1－3 に示す「①設計データ収集」の段階で実施する必要がある。

なお，調査に関しては既存資料に詳しく解説されているので，本設計マニュアルでは詳細な解説を省略した。したがって，調査に関しては巻末資料－15 に示す参考資料等を参照されたい。

２．２　計　画

簡易発電システムを設計する際は，発電事業の目的，適用施設，現地状況に合わせて必要な検討事項を実施し，計画を立案する。

【解説】

簡易発電システムを設計する際は，発電事業の目的（一般供給および卸供給，自家消費），適用施設（河川維持流量等放流設備，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道施設），現地状況に合わせて必要な検討事項を，図 1－3 に示す「③計画・設計（基本仕様選定）」～「④評価」の流れで実施し，計画を立案する必要がある。

なお，計画に関しては既存資料に詳しく解説されているので，本設計マニュアルでは詳細な解説を省略した。したがって，計画に関しては巻末資料－15 に示す参考資料等を参照されたい。

第３章　土木設備

簡易発電システムとしてコストダウンを図る土木設備の要素技術は，基本的に以下の３つの設備を対象とする。

① 取水設備
② 水圧管路
③ 発電所基礎・建屋

【解説】

河川維持流量等放流設備，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道施設の水などを利用する簡易発電システムは，落差・流量が小さく，経済性に乏しいため，これまで発電にあまり利用されてこなかった領域が対象であることから，コストダウンを図る土木設備（上記３設備）の要素技術としては，発電施設以外の実態を含めて調査・検討を行った。

これらの設備における要素技術の採用にあたっては,各設備の設定条件にあわせて，その機能と安全性を十分に検討したうえ,イニシャルコストとランニングコストの両面に配慮して，総合的なコストダウンを図るものとする。

なお，本設計マニュアルでは，コストダウン技術として，これまで取り上げられることのなかった取水設備，水圧管路，発電所基礎・建屋を対象としたが，その他，沈砂池，導水路，ヘッドタンク，余水路等の主要設備についても，従前の事例，既存資料や検討結果等を参考にコストダウンに努めるものとする。

３．１　取水設備

簡易発電システムにおける取水設備としては，発電設備としてこれまで採用されてきた方式に加え,発電施設以外の実績も考慮し,ランニングコストを含めた総合的なコストダウンとなるような方式を採用するものとする。

【解説】

簡易発電システムにおける取水設備は,“少ない水をいかに効率よく取水するか”という命題に対応したものとなる。このため，これまで発電で実績をあげている渓流取水設備に加え,発電施設以外の実績も考慮して，効果的な取水方式を選択する必要がある。

また，取水設備の選定における配慮事項としては，以下の３項目があげられる。

① 土砂や塵芥等への対応
② 保守のしやすさ（流入土砂，塵芥を排除しやすい構造）
③ 管理の状況（対応人員，管理所との距離等）

これらは，いずれもランニングコストに影響する事項であり,簡易発電システムの管理に大きく影響する問題でもある。

したがって，取水設備については，上記の３項目を十分配慮したうえ，維持管理の容易さとイニシャルコストを勘案して，総合的なコストダウンとなるような形式を選択しなければならない。

なお，第７章「運転・保守」に記載されているとおり，除塵は小水力発電の重要な課題であることから，取水障害を引き起こさないよう慎重に対応する必要がある。簡易発電システムへの採用を念頭においた除塵機の採用事例を第７章「運転・保守」で整理した。

３．１．１　取水方式の種類

簡易発電システムにおける取水方式としては，表 3−1 に示す取水方式を参考に,現地状況に合わせて適切な方式を選定する。

【解説】

農業分野では「土地改良事業計画設計基準・設計「頭首工」(平成 7 年 7 月　農林水産省構造改善局)」に渓流取水の要件として,

① 急激な流量変化に対して，安定した計画取水ができること
② 流下土砂礫，種々の浮遊落下物によって，取水障害が起こりにくいこと
③ 流石，流木等に対して堅牢であること
④ 構造が簡単で，維持管理が容易であり，その費用が低廉であること
⑤ 取水制限流量等の取水規則がある場合には, その条件を確実に満たし得る 措置を講じること
⑥ 冬季，積雪，凍結のあるところでも取水障害が起こりにくく，損壊しにくいこと
⑦ 周辺の景観や，河川環境を損ねないものであること
⑧ 魚族の棲息する渓流河川では，その環境を保証し得るものであること

があげられており, 同基準によれば農業分野における渓流取水の方法は, 図 3−1 に示すように分類されている。

一方，水道分野では,「水道施設設置指針・解説(1990 厚生省監修)」に取水設備の要件として,

① 取水設備は，水源の種類にかかわらず年間通じて計画取水量を確実に取水できること
② 水質が良好であって，将来も汚濁のない地点に設置すること
③ 洪水時等の悪条件下においても，維持管理が安全かつ容易に行えること

を考慮することとされている。

また，水道水源には地表水（河川・湖沼）と地下水（伏流水）があり，取水設備の選定は，河川水を水源とする設備として「取水堰・取水塔・取水門および取水管渠」，地下水を水源とする設備として「集水埋渠・浅井戸および深井戸」の中から適切に選択するのが一般的である。さらに，河川水を水源とする場合で，河川勾配が急で巨石等が流下する可能性があり，土砂の堆積が著しくて，みお筋や取水位の確保を十分に検討する必要があるような渓流取水の場合は，特に水クッション方式やバースクリーン方式を採用することが多い。

水道分野における渓流取水方式は，図 3－2 に示すように分類されている。

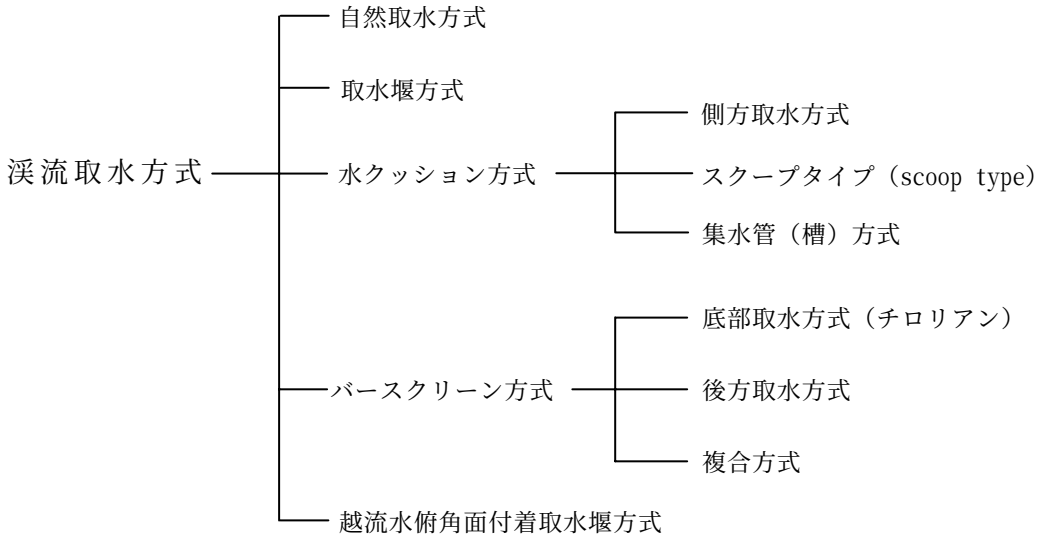


図 3－1　農業分野の渓流取水方式の分類

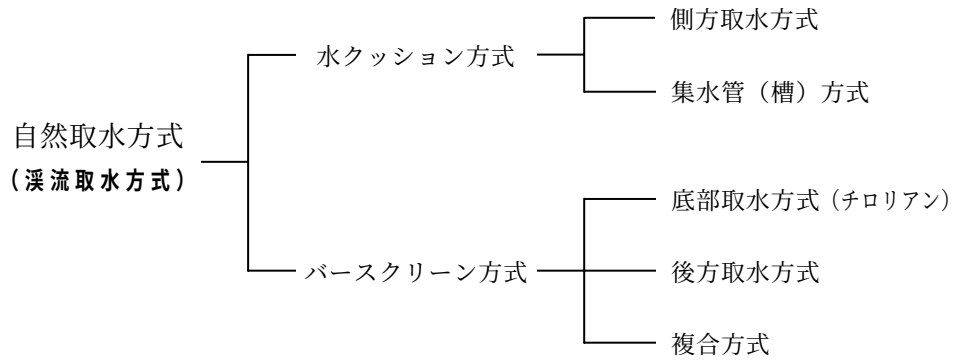
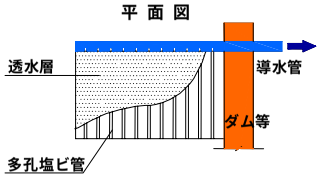
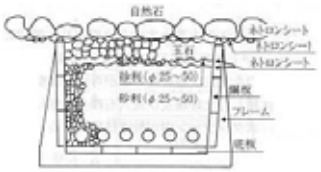
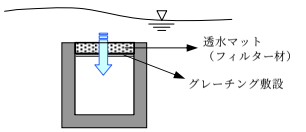
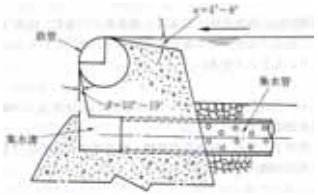


図 3－2　水道分野の渓流取水方式の分類

簡易発電システムにおける取水方式の例は，農業分野および水道分野の実績に発電分野の実績を加え，表 3－1 に整理した。

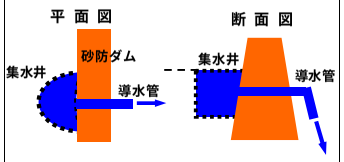
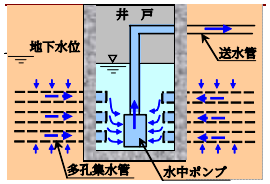
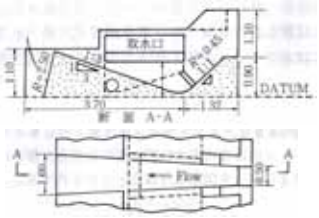
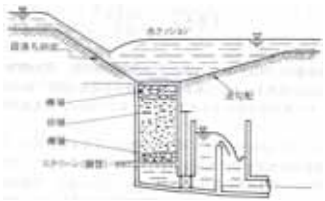
なお，簡易発電システムにおいては，表 3－1 を参考にして，表 3－4 に示す各取水方式の特性に対応した取水方式を選定する。

表 3−1(1)　簡易発電システムにおける取水方式の参考例

取水方式	取水規模*	分　類	概念図	概　要	採用事例等 採用状況	備　考
浸透水取水方式	小流量 0.002m³/s/m² 程度 (単位面積当り)	多孔管		河床内の透水層に多孔塩ビ管等を設置し，浸透した流水を取水する方法。堆砂した砂防ダムに適用できる。	中国電力㈱周布川第一発電所 （Q=0.30m³/s）	 (ふとん篭＋集水管)
		集水管方式 （集水暗渠）		渓流の河床面下に集水管を埋設し取水する方法。 長所：0.05m³/s 程度の小規模取水では安定した取水が期待できる。 短所：取水量が大きくなると暗渠が大きくなり，取水地点が制限される。一般には維持管理は難しい。	東京電力㈱ 信濃川発電所 （Q=0.12m³/s） 中国電力㈱ 安蔵川発電所 （Q=0.35m³/s）	
		透水マット		透水マットがフィルターの役目を果たし，水頭差を利用して取水する方法。	中部電力㈱春日発電所 ヘチマロン：プラスチック立体網状成形品 	 (ふとん篭＋集水管)
		ふとん籠		取水口などにフトン籠を配置し，流水をろ過する方法。	九州電力㈱　槇之口発電所 （Q=0.16m³/s） 群馬県桐生市　利平茶屋発電所	
越流水付着水取水方式	小流量 0.016 m³/s/m 以下 (単位幅当り)	――		円弧状の堰頂部を流下する水を付着力によって俯角面に沿って取水溝に導く方法。 長所：土砂礫，流木等の流下物は分離され，除塵効果は高い。 短所：出水時には越流水が堰頂部を離れ，ほとんど取水が不可能になる。	金沢市企業局　新内川第二発電所 （Q=0.13m³/s） 中部電力㈱　松川発電所 （Q=0.10m³/s）	北電技術コンサルタント㈱ 平成 8 年 8 月実用新案登録

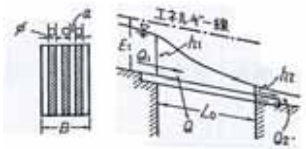
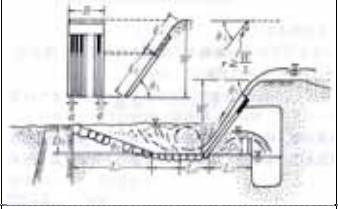
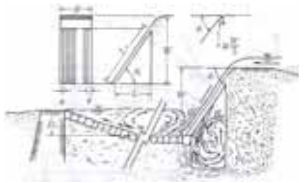
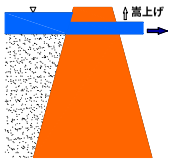
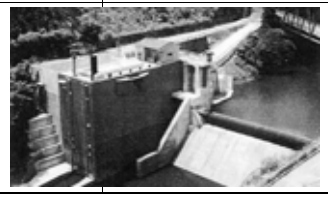
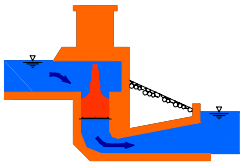
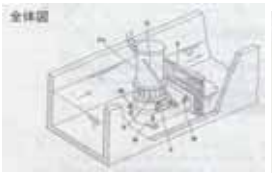
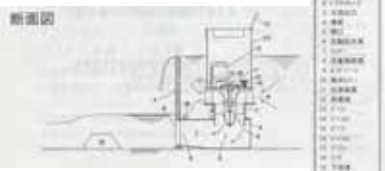
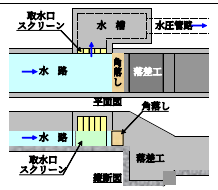
注）取水規模は最大使用水量を示し，小流量は 0.1m³/s 未満，中流量は 0.1～1.0m³/s 未満，大流量は 1.0m³/s 以上を目安とする。

表 3－1（2） 簡易発電システムにおける取水方式の参考例

取水方式	取水規模*	分 類	概念図	概 要	採用事例等 採用状況	備 考
集水井取水方式	小流量	表流水		堰又は落差工の上流河床部に半円（矩形）状の集水井をつくり，構造物を有孔加工して取水する方法。	 （集水井）	 （導水管）
		伏流水		井戸底部付近に多孔集水管を放射線状に配置して取水（集水）する方法。 伏流水の流況が良ければ，安定した取水が可能。		
水クッション取水方式	小～中流量	側方取水方式		越流水は水クッション部で常流状態となり，水路側面にある取水口から取水する方法。	東北電力㈱ 実川発電所 （Q=0.35㎥/s） 中国電力㈱ 新大呂発電所 （Q=0.09㎥/s）	
		スクープ方式		下流側流出口（デフレクター）の敷高を流入口よりも高くし，水クッション部に沈積した土砂礫を下流へ掃流しながら，水路側壁に設けた取水口から取水する方法。 長所：比較的小粒の土砂礫に対する掃流効果は高い。 短所：水理模型実験を行い，最適形状を確認する必要がある。		 （取水口）
		集水槽方式		水クッション底床部に集水槽を設置した取水方法。流水を水クッション内で常流に保ち，ろ過層の浸透性を利用する。		

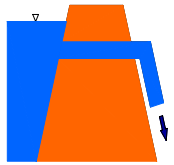
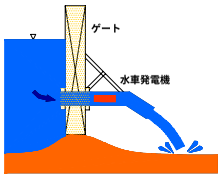
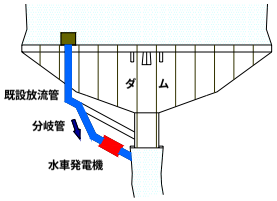
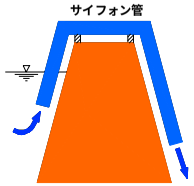
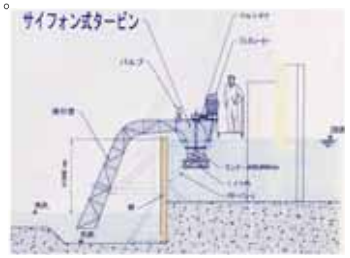
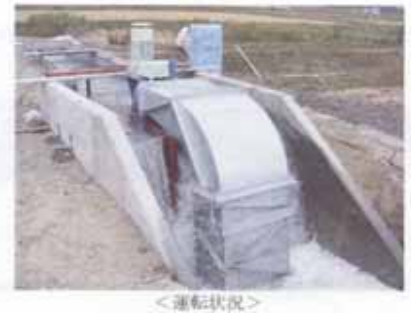
注）取水規模は最大使用水量を示し，小流量は 0.1㎥/s 未満，中流量は 0.1～1.0㎥/s 未満，大流量は 1.0㎥/s 以上を目安とする。

表 3－1（3） 簡易発電システムにおける取水方式の参考例

取水方式	取水規模*	分 類	概念図	概 要	採用事例等 採用状況	備 考
バースクリーン 取水方式	中～大流量 0.1～ 0.3㎥/s/m (単位幅当り)	底部取水方式 （チロリアン）		固定堰越流部や落差工等に設定されたバースクリーンによって土砂礫，流木等を排除し，流入水を集水路に導く方法。 長所：構造が簡素で，取水効率に優れる。 短所：流木，浮遊流下物による目詰まりが生じやすい。	（渓流取水において数多くの実績がある）	 （後方取水方式）
		後方取水方式		傾斜部にバースクリーンを配置し，水クッション部で常流状態となった流水を背面から取水する方法。 長所：土砂礫，浮遊流下物による目詰まりが起き難い。 短所：チロリアンに比べて構造が複雑。	富士川水系 琴川取水堰 （Q=0.232㎥/s） 水資源機構 三重用水 員弁川他取水堰	
		複合方式		浮遊流下物等によるバースクリーンの目詰まりを防ぐために，スクリーンの取付け角を 45～50 ° とし，越流水の取水と水叩き部からの背面取水を見込んだ取水方法。 長所：取水効率が良く，洪水時の取水にも適する。 短所：チロリアンに比べて構造が複雑。		
嵩上げ取水方式	中～大流量	―――		既設ダムの嵩上げにより得られた容量を利用し，取水口を設置して取水する方法。	宮城県企業局 猿瀬発電所	 （ゴムダムによる嵩上げ）
水路落差工取水方式	中～大流量	―――		既設水路内の落差工を利用する取水方法。	長野県大町市 農業用水路 発電施設	 
横取り取水方式	小～大流量	淵利用側方取水 など		河川や水路などの流れの方向に対して，側面部に取水口を設けて取水する方法。 取水方法としては最も簡易であり，小量取水の事例が多くある。	都留市市民発電所， 長野県大町市農業用水路発電施設	

注）取水規模は最大使用水量を示し，小流量は 0.1㎥/s 未満，中流量は 0.1～1.0㎥/s 未満，大流量は 1.0㎥/s 以上を目安とする。

表 3－1（4） 簡易発電システムにおける取水方式の参考例

取水方式	取水規模*	分 類	概念図	概 要	採用事例等 採用状況等	備 考
堤体穴開け取水方式 （既設ダム等への対応）	小～大流量	――		ダム堤体に管路を埋設し，取水口を設置して取水する方法。	電源開発㈱；秋葉ダム，活込ダム 東北地方建設局；鎧畑ダム，田瀬ダム 茨城県；藤井川ダム	
ゲート穴開け取水方式	小～大流量	――		ゲートを改造して門扉に水車を取り付けて取水する方法。	富山県常西発電施設	
既設管分岐取水方式	小～大流量	――		既設の放流管を分岐して取水する方法。ダム利水放流管等に適用できる。 （東京電力㈱ 稲核発電所 ⇒）		
サイフォン取水方式	小～大流量	――		サイフォン作用を利用して取水する方法。一般には，管頂部に真空ポンプを配置する。なお，一般的に最高点の位置と動水勾配線の差（高さ）は 8.0～8.5mが限界となる。 	七色ダム（電源開発㈱；七色発電所），活込ダム（電源開発㈱；足寄発電所），丸尾ダム（関西電力㈱；和田発電所）いずれも河川維持流量の放流。 	

注）取水規模は最大使用水量を示し，小流量は 0.1m³/s 未満，中流量は 0.1～1.0m³/s 未満，大流量は 1.0m³/s 以上を目安とする。

３．１．２　取水方式の選定

簡易発電システムにおける取水方式の選定にあたっては，各適用施設の対象構造物と取水規模の適合性を考慮して，適切な方式を選定する。

【解説】

簡易発電システムにおける適用施設の対象構造物を，表 3－2 のとおり整理した。

表 3－2　各適用施設の対象構造物

[各適用施設において対象構造物がある場合は○，ない場合は×とした]

適用施設 / 対象構造物	河川維持流量等放流設備	砂防ダム	農業用施設	上・工水施設	下水道施設
ダム・堰堤(堰)	○	○	○	○	×
落差工・放水口※1	×	×	○	○	○
急流工・放水路※2	×	×	○	○	○

※１；ほとんど垂直に落ちる構造物とする。
※２；ある程度の勾配をもつ構造物とする。

次に，各対象構造物において適合の可能性がある取水方式を，表 3－3 のとおり整理した。ここで,ダム・堰堤(堰)のうち，砂防ダムに対応する構造物については，特に流入砂礫への考慮が必要なことから，別に区分して整理した。

表 3－3　各適用施設の対象構造物への適合性

[各対象構造物において取水方式が適合する場合は○，しない場合は×とした]

取水規模※3	取水方式	ダム・堰堤(堰)		落差工・放水口	急流工・放水路
		砂防施設	砂防施設以外		
小流量	浸透水	○	×	×	×
	越流水付着	○	○	×	×
	集水井	○	×	×	×
小～中流量	水クッション	○	○	×	×
中～大流量	バースクリーン	○	○	×	×
	嵩上げ	○	○	×	×
	水路落差工	×	×	○	×
小～大流量	横取り	○	○	○	○
	堤体穴開け	○	○	×	×
	ゲート穴開け	×	○	○	○
	既設管分岐	×	○	×	×
	サイフォン	○	○	○	○

※３；取水規模は最大使用水量を示し，小流量は 0.1㎥/s 未満，中流量は 0.1～1.0㎥/s 未満，大流量は 1.0㎥/s 以上を目安とする。

さらに，砂礫の混入や塵芥の混入等，設計・管理を考える上で条件となる事項に対し，各取水方式の特性を表 3－4 のとおり整理した。

表 3－4　各取水方式の特性

取水方式	土砂の混入	塵芥の混入	取水口部での損失水頭	水路内への設置
浸透水	混入し難い	混入し難い	落差若干低減	不可
越流水付着	混入し難い	混入し難い	落差低減	可
集水井	混入し難い	混入し難い	落差若干低減	不可
水クッション	混入し難い	混入し難い	落差低減	不可
バースクリーン	混入する	混入する	落差低減	可
嵩上げ	混入し難い	混入する	影響なし	可
水路落差工	混入する	混入する	影響なし	可
横取り	混入する	混入する	影響なし	不可
堤体穴開け	混入する	混入する	影響なし	可
ゲート穴開け	混入し難い	混入し難い	影響なし	可
既設管分岐	混入し難い	混入し難い	影響なし	不可
サイフォン	混入し難い	混入し難い	影響なし	可

本設計マニュアルでは，表 3－2～4 に整理した事項を念頭におき，取水方式の絞込みフロー(例)を図 3－3～6 のとおり作成した。簡易発電システムにおける取水方式としては，ここに示すフローにより選択することができる。

実際の設計に際しては，図 3－3～6 によって絞込まれた取水方式に対して表 3－1 に示す「各方式の概要」と，3.5.3 項「(1)取水設備によるコストダウン」を勘案するとともに，表 7－5 に示す維持管理(点検)に対する課題を参考にして，最終的な取水方式を決定する。

なお，ここで示すフローは，あくまでも基本的な考え方を示すものである。沈砂池や除塵機等の補助的な設備の設置や各地点の特殊性等を考慮することにより，フローに適合しないような取水設備の選択も可能となる。

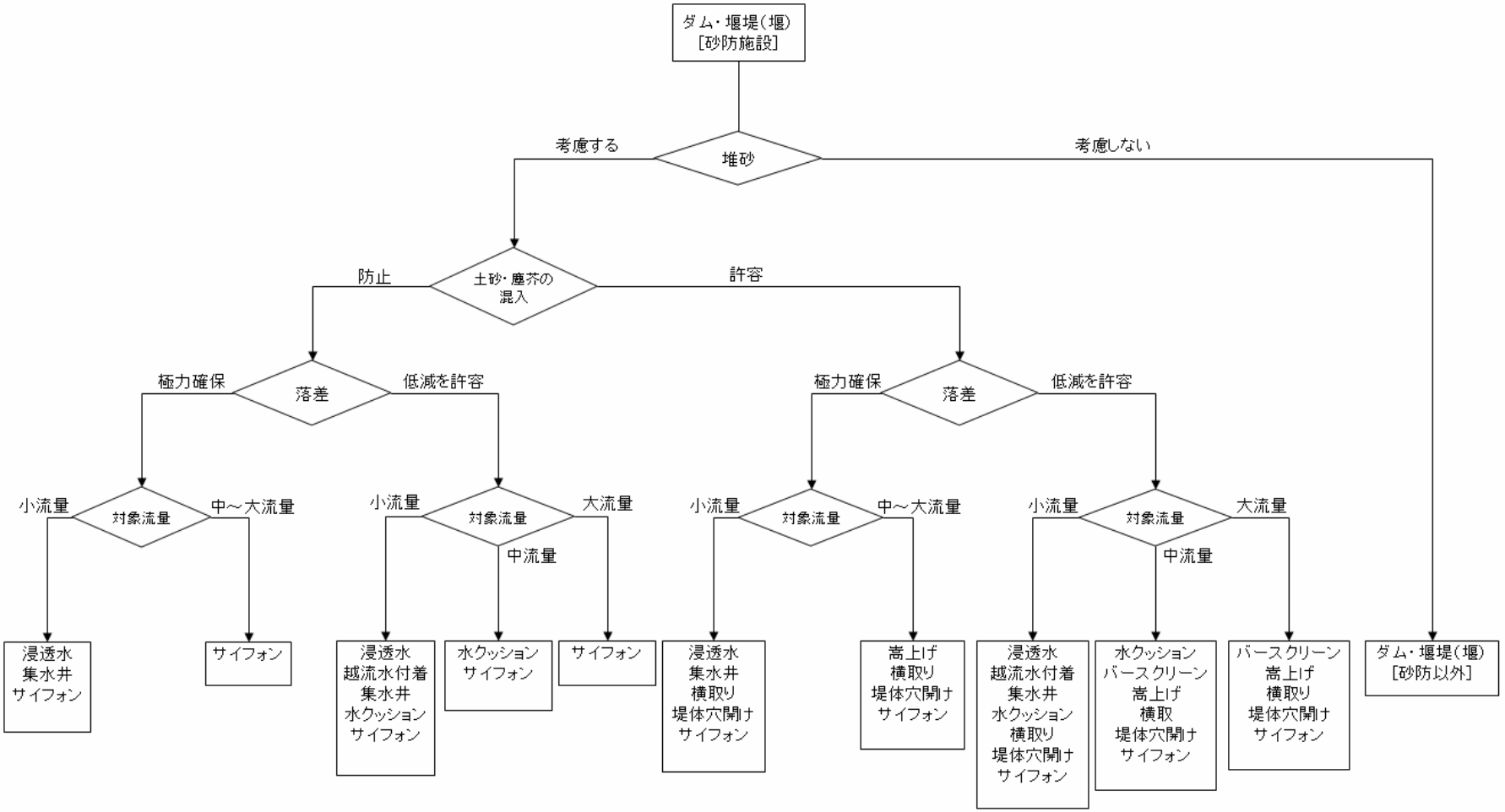


図 3－3 ダム・堰堤(堰)　[砂防施設]　における取水方式絞込みフロー

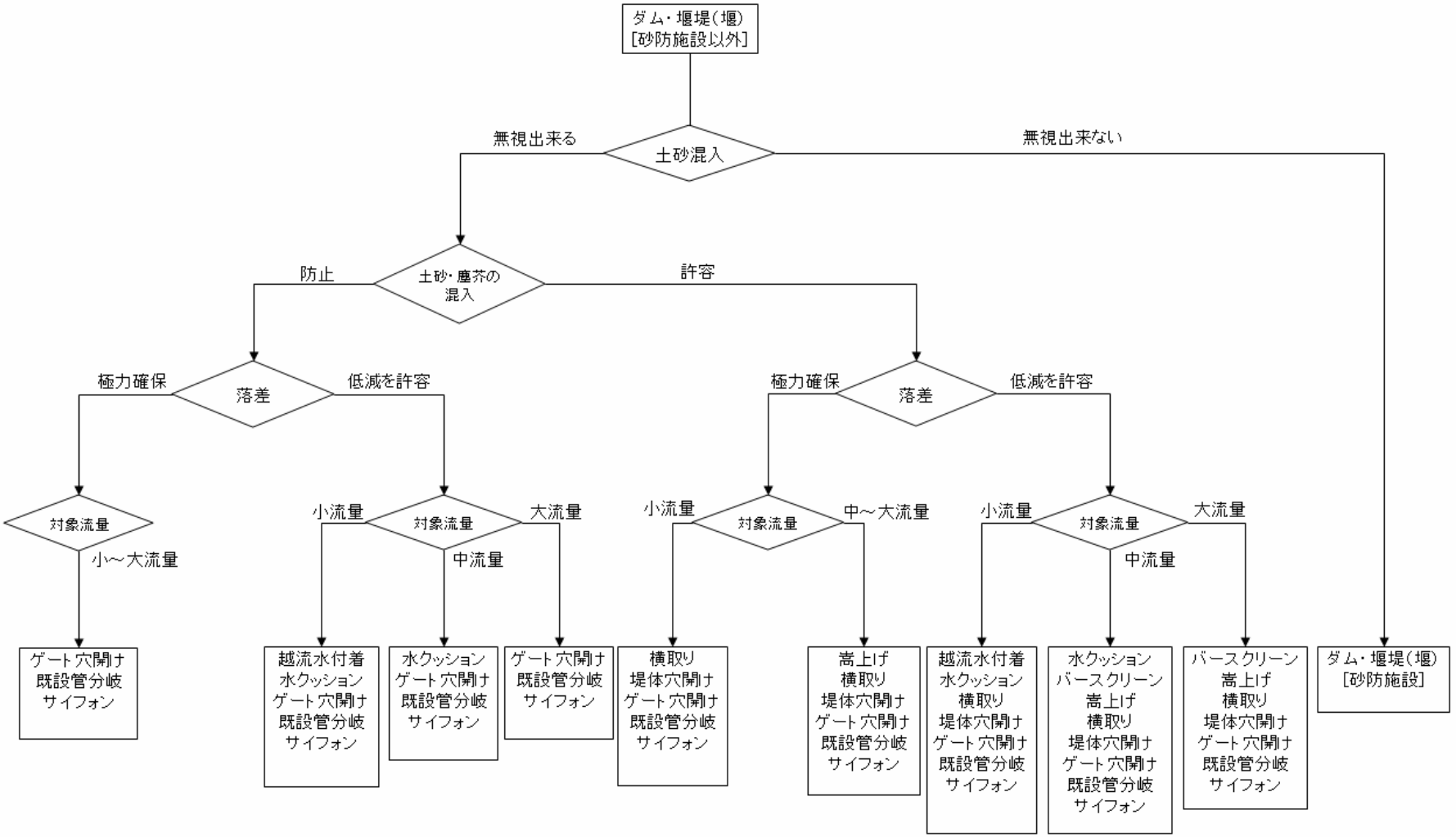


図 3－4 河川維持流量等放流設備　[砂防以外]　における取水方式絞込みフロー

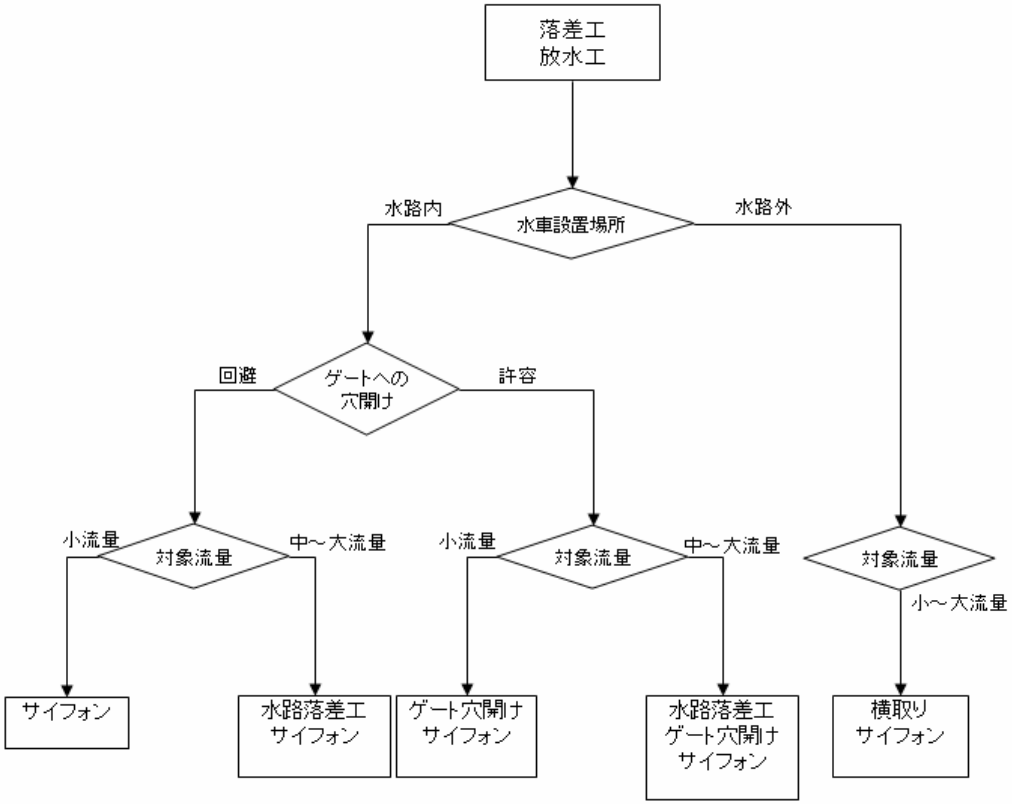


図 3－5 落差工・放水口における取水方式絞込みフロー

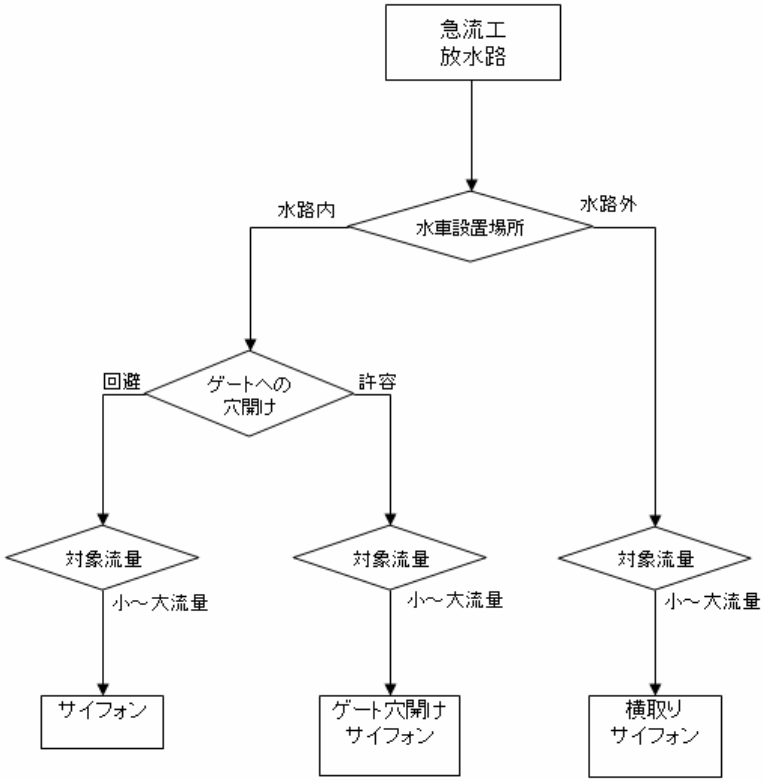


図 3－6 急流工・放水路における取水方式絞込みフロー

３．１．３　設計に関する基本事項

取水設備の設計にあたっては，計画取水量を取水するため，適用施設および当該地点の諸条件に合わせて,必要となる構成設備を検討し，これら構成設備が安全に機能する規模・構造とするとともに，いかなる状況下においても，適用施設の目的を妨げることのないように留意して設計する。

【解説】

一般的に取水設備は，取水ダム（堰），土砂吐きゲート，取水口，スクリーン，制水門等の設備から構成されている。計画取水量を取水するためには，適用施設および当該地点の諸条件に合わせて，必要となる上記構成設備を検討し，それら構成設備が安全に機能する規模・構造で設計する必要がある。

また，取水設備は既設施設に設置されることから，発電運転時，発電運転停止時および事故停止時等，いかなる状況下においても，適用施設の目的を妨げることのないように留意して設計する必要がある。

なお，取水設備（各構成設備）に関しては既存資料に詳しく解説されているので，本設計マニュアルでは詳細な解説を省略した。したがって，取水設備（各構成設備）の設計にあたっては，巻末資料－15 に示す参考資料等を参照されたい。

３．２　水圧管路

３．２．１　対象管種

簡易発電システムにおいて使用する水圧管路としてはコンクリートを材料とする管，「発電用水力設備に関する技術基準を定める省令（以下、「水技」という。）　第 26 条に対応する（技術基準の解釈　第 22 条)」に規定される管のほか，一般市販管として以下の３種を使用することができる。

① 硬質塩化ビニル管（塩ビ管）
② ポリエチレン管（ポリ管）
③ 耐圧ポリエチレンリブ管[ハウエル管](リブ管)

【解説】

簡易発電システムにおいて使用できる管種は，コンクリートを材料とする管の他,「水技　第 26 条に対応する（技術基準の解釈　第 22 条)」に規定される鋼材・鋼管・FRP(M)管に加え，一般市販管として上記３種を使用することができる。

小流量・低落差を対象とする簡易発電システムにおいては，農業（パイプライン）や水道，下水道等において利用されている硬質塩化ビニル管等の「安価で施工性の良い一般市販管」の採用によりコストダウンの可能性がある。そのため,これまで水力発電所の水圧管路として一般的に用いられてきた鋼管や FRP(M)管に対し,安全性が確認できたことから新たな選択肢として上記 3 種の管を加えた。これらの一般市販管の採用によるコストダウンについては「３．５　コストダウンの要素」に示す。

簡易発電システムにおける水圧管路として,上記の３種の一般市販管を適用可能と評価した検討の流れを図 3－7 に示す。図 3－7 の流れに従って，対象管種に新たな選択肢として加えた塩ビ管,ポリ管,リブ管の概要および性能,技術的な検討の経緯を以下に解説する。

(1) 一般市販管の採用事例

簡易発電システムにおいて使用する水圧管路管種を選定するため,まず,発電以外の分野での水圧管路としての適用実績について整理した。その結果を表 3－5 に整理した。その結果，小流量・低落差の簡易発電システムへの採用を前提とし，

・ 複数の分野で使用されている
・ 現時点で容易に入手可能と考えられる

という点に考慮して，一般市販管の検討対象管種を以下の５種に選定した。

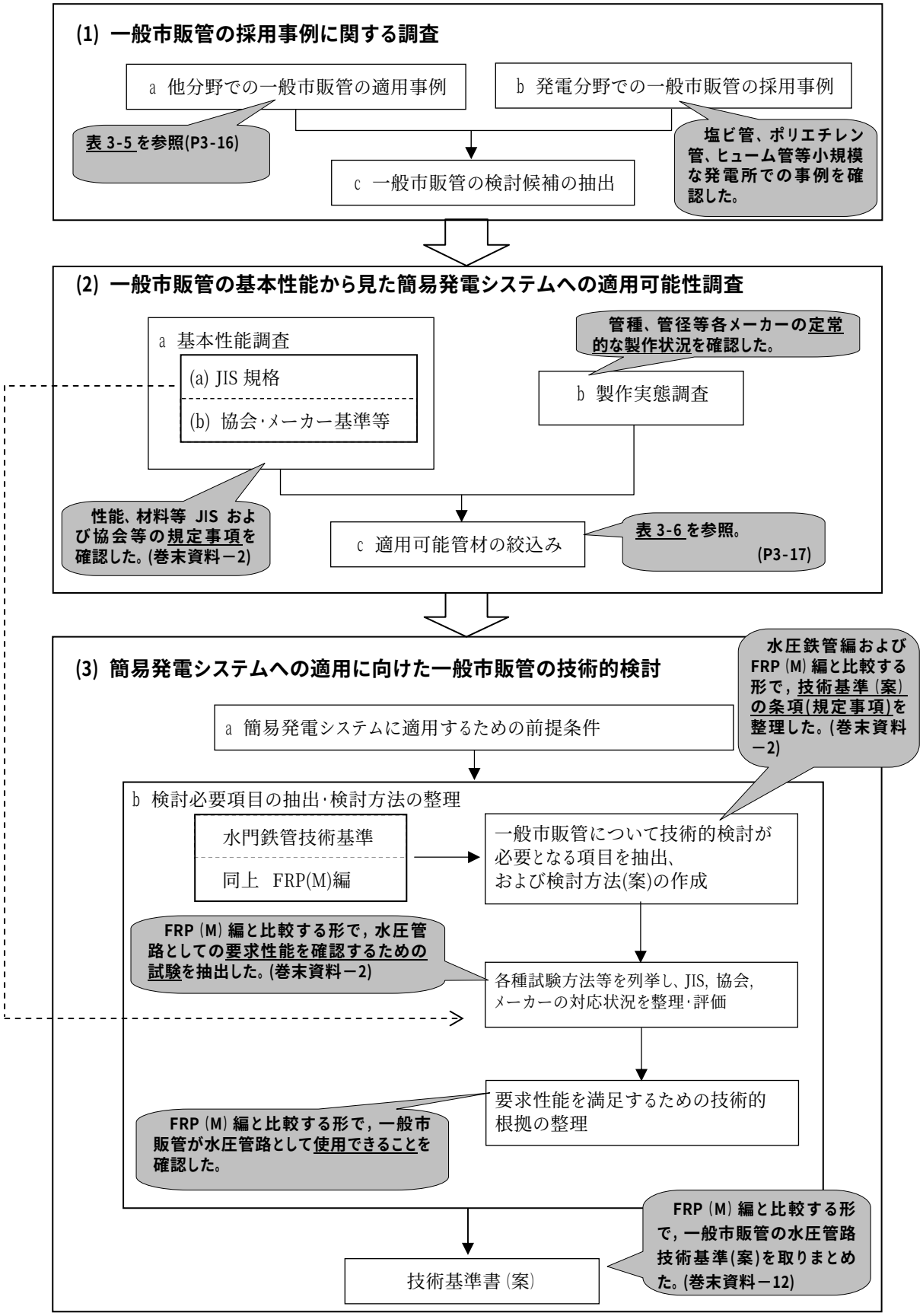


図 3－7　一般市販管を適用可能と評価した検討の流れ

① 硬質塩化ビニル管（塩ビ管）
② ポリエチレン管（ポリ管）
③ 耐圧ポリエチレンリブ管（リブ管）
④ 遠心力鉄筋コンクリート管(HP 管)
⑤ プレストレストコンクリート管（PC 管）

表 3－5　他分野における適用管種一覧表

管　種	特　徴	農業※1	上水道※2	工業用水※3	下水道※4	備　考
鋼管(ステンレス鋼管含む)	強度が大。耐久性に富み，靭性・延性が良い。耐衝撃性に優れ，重量は比較的軽い。電食に配慮を要する。	○	○ (配・給水)	○	○	発電で採用実績あり
ダクタイル鋳鉄管	強度・耐久性が大きく，耐食性も優れる。電食の恐れが少ない。重量は比較的重い。	○	○ (配・給水)	○	○	同上
FRP(M)管	軽量で施工性が良い。耐食性，耐磨耗性，耐電食性，耐衝撃性に優れる。	○			○	同上
硬質塩化ビニル管	軽量で施工性が良い。耐食性，耐電食性に優れる。低温時に耐衝撃性が低下。有機溶剤，熱，紫外線に弱い。	○	○ (配・給水)	○	○	
ポリエチレン管	軽量で施工性が良い。耐衝撃性，耐食性，耐電食性に優れる。比較的柔らかく傷がつきやすい。有機溶剤に注意を要する。	○	○ (配・給水)		○	
耐圧ポリエチレンリブ管	軽量で施工性が良い。耐食性，耐電食性，耐電食性に優れる。				○	
遠心力鉄筋コンクリート管 (HP 管)	耐食性・耐久性が大。電食の恐れなし。重量が重い。	○		○	○	
プレストレストコンクリート管 （PC 管）	同上	○		○		

※１；「土地改良事業計画設計基準」，※２；「水道施設設計指針」
※３；「工業用水道施設基準」，※４；「下水道施設計画・設計指針」

(2) 一般市販管適用の可能性（絞り込み）

引き続き,(1)で抽出した５種の一般市販管に対し，各管の基本性能（JIS 規格，協会・メーカー基準）および製作実態について調査し，簡易発電システムへの適用の可否を整理

した(表 3－6)。

表 3－6 に示す整理結果より，簡易発電システムの水圧管路の対象管種を以下に絞り込むものとした。

① 硬質塩化ビニル管（塩ビ管）

② ポリエチレン管（ポリ管）

③ 耐圧ポリエチレンリブ管（ポリリブ管）

④ プレストレストコンクリート管（PC 管）

なお，各管種の基本性能を確認するため JIS 規格および協会等の規程事項を整理した。その結果は巻末資料－２に添付する。

表 3－6　簡易発電システムへの適用の可否

	規　格	使用圧力	継手性能	製作実態	適用の可否
硬質塩化ビニル管	JIS K 6741	○ (1.0MPa 以下)	○	○	○
	JIS K 6742	○ (0.75MPa 以下)	○	○	○
ポリエチレン管	JIS K 6761	○ (規定なし)	○	○	○
	JIS K 6762	○ (0.75MPa 以下)	○	○	○
	(協会規格)	○ (1.0MPa 以下)	○	○	○
耐圧ポリエチレンリブ管	JIS K 6780	○ 〔協会：0.1MPa 以下)	○	○	○
	(協会規格)	○ 〔協会：0.5MPa 以下)	○	○	○
遠心力鉄筋コンクリート管(HP 管)	JIS A 5372	○ (0.4~0.6MPa 以下)	○	×	×
プレストレストコンクリート管（PC 管）	JIS A 5373	○ (協会：0.6MPa 以下)	○	○	○

[凡　例]　使用圧力：○＝内圧管として使用可能，×＝内圧管として使用不可能
継手性能：○＝継手部が強度・水密性から弱点にならない，×＝継手部が弱点になる
製作実態：○＝製作している，×＝製作していない
適用可否：○＝簡易発電システムへの適用可能，×＝適用は難しい

(3) 一般市販管の適合性（技術的検討）

前記(2)で絞り込んだ４種の一般市販管に対し，簡易発電システムの水圧管路としての利用しやすくするために『一般市販管による水圧管路技術基準(案)』を立案することとした。その基準(案)の立案を念頭に置いて，まず，既往の基準（『水門鉄管技術基準 水圧鉄管編』および『水門鉄管技術基準 FRP(M)水圧管編』）と比較する形で，一般市販管として技術的に検討すべき項目を抽出し,その性能を確認するための試験方法を抽出･整理した。この検討作業により『一般市販管による水圧管路技術基準(案)』の条項（規定事項）が整理された。この結果については,「技術的検討が必要な項目ならびに検討方法」として巻末資料－２に添付する。

次に，一般市販管の性能を確認するための各種試験が JIS 基準や協会基準,メーカー基

準においてどのように規定され，必要な試験の全てに対応しているか,また，不足している場合は大学や民間研究機関等の試験により補完できるのか，ということについて調査・検討した。この検討は,FRP(M)管を水力発電所の水圧管路として採用する際に検討された試験等を基本として，各管種の技術基準や設計資料で解説されている試験項目を加えたものである。この検討結果を整理し「要求性能を確認するための技術的根拠」として巻末資料－２に添付した。

以上の検討から，簡易発電システムの水圧管路として適合性が確認され，採用できる一般市販管の管種は，表 3－7 に示すとおりである。

農業用パイプライン等で使用されている一般市販管のプレストレストコンクリート管（PC 管）は，既に水技第 26 条の四においてコンクリートの材料が規定されていることから，表 3－7 に含まないこととした。

なお，十分な検討を加えた場合は,表 3－7 に示以外の材料を使用することができる。

表 3－7　適用管種

管種		規　格	口径（呼び径）
塩ビ管	硬質塩化ビニル管	JIS K 6741	13～700㎜
	水道用硬質塩化ビニル管	JIS K 6742	13～150㎜
	水道用ゴム輪形硬質塩化ビニル管	JWWA K 127	50～150㎜
	水道用ゴム輪形耐衝撃性硬質塩化ビニル管	JWWA K 129	50～150㎜
	水道用ゴム輪形硬質塩化ビニル管	AS 31	125～300㎜
	水道用ゴム輪形耐衝撃性硬質塩化ビニル管	AS 33	125～300㎜
	農業用水用厚肉硬質塩化ビニル管	AS 60	50～150㎜
ポリ管	一般用ポリエチレン管	JIS K 6761	10～300㎜
	水道用ポリエチレン２層管	JIS K 6762	13～50㎜
	農業用高密度ポリエチレン管	農水ポリエチレン管協会規格(ISO 4427)	250～1500㎜
リブ管	耐圧ポリエチレンリブ管	JIS K 6780	200～2000㎜
	内圧用高耐圧ポリエチレン管	高耐圧ポリエチレン管協会規格	300～1000㎜

３．２．２　一般市販管による水圧管路技術基準(案)

簡易発電システムの水圧管路として一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管）を採用する場合は,一般市販管による水圧管路技術基準(案)による。

【解説】

「３．２．１　対象管種」に示す検討結果と,『水門鉄管技術基準 水圧鉄管編』および『水門鉄管技術基準 FRP(M)水圧管編』や，一般市販管に対する既往の設計基準（『水道施設設計指針』(日本水道協会，2000),『土地改良事業計画設計基準「パイプライン」』(農林水産省構造改善局，1998)）を参考に，一般市販管による水圧管路技術基準(案)を立案した（巻末資料－12)。

簡易発電システムの水圧管路として採用する一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管）の管種の選定にあたっては,経済性に加えて,当該地点の特性や施工性，維持管理のほか，各管種の特性を総合的に検討して決定する必要があり，また，その管種の性能と機能を十分に把握したうえ，当該地点の諸条件に合わせて,適正な設計が必要となる。

したがって,一般市販管を採用する際は，巻末資料－12 に添付する「一般市販管による水圧管路技術基準(案)」に従い，当該地点の諸条件を考慮して，適正に設計する必要がある。

また，本設計マニュアルは開発規模 500kW 程度以下の水力発電所に適用するが，一般市販管は「一般市販管による水圧管路技術基準(案)」に従うことで，開発規模 500kW を超える水力発電所や，他の水路設備（導水路，余水路等）にも採用可能である。

なお,「３．２．１　対象管種」で示す一般市販管のプレストレストコンクリート管（PC 管）は，表 3－7 と同様に『一般市販管による水圧管路技術基準(案)』に含まないこととした。

３．３　発電所基礎・建屋

３．３．１　法的要件等

簡易発電システムにおける発電所基礎・建屋は,比較的規模が小さいことから，それぞれの機能の合理化によりコストダウンを図ることになるが,それぞれの法的要件に関しては満足しなければならない。

【解説】

簡易発電システムにおける発電所基礎・建屋の検討に際しては,以下に示すそれぞれの法的要件に関して満足しなければならない。

(1) 発電所基礎

水力発電所の設計に際し，基本となる基準は水技第 35 条である。

水技 35 条および同 35 条に関連する『発電用水力設備に関する技術基準の解釈』（以下,「水技解釈」という。）第 42 条を以下に示す。

【水技】
（地下発電所等のコンクリート構造物の施設）
第 35 条　水車及び発電機を収容する施設であって，地下に施設するものは，次の各号によらなければならない。
一　地下発電所等に使用するコンクリートの材料は，第 10 条各号によること。
二　地下発電所は，自重，水圧，地震力及び土圧若しくは地圧に対し，安定であり，かつ，これらの荷重によりコンクリート構造物の部分に生じる応力及びこれらの荷重のうち，地震力以外の荷重により当該部分に生じる応力は，使用する材料ごとにそれぞれの許容応力を超えないこと。

水技 35 条は, 地下発電所等のコンクリート構造物が備えなければならない事項について規定したものである。地下発電所には，全地下式の発電所だけでなく，水車のみ地下に設置する場合の地下部分を含むものである。

【水技第 35 条に対応する】
（水技解釈　第 42 条　地下発電所等の許容応力）
省令第 35 条第二項に規定する許容応力とは, コンクリートを使用する場合にあっては，省令第 13 条第 1 項第三号の技術基準の解釈第 6 条を準用する。

ここで，水技第 13 条第 1 項第三号の技術基準の解釈第 6 条に規定されるコンクリートの許容応力度は，『コンクリート標準示方書』(2002 土木学会)と同値であり，標準的な値を規定している。

(2) 発電所建屋

発電所建屋の縮小・省略等の合理化を検討する際は，次の法的要件を満足しなければならない。

電気設備に関する技術基準を定める『電気設備に関する技術基準を定める省令』（以下，「電技」という。）によると，以下の点を満足する必要がある。

【電技】
（電気設備の接地）
第 10 条　電気設備の必要な箇所には，異常時の電位上昇，高電圧の進入等による感電，火災その他人体に危険を及ぼし，又は物件への損傷を与える恐れがないよう，接地のその他の適切な措置を講じなければならない（以下略）。

（電気設備の接地の方法）
第 11 条　電気設備に接地を施す場合は，電流が安全かつ確実に大地に通じることができるようにしなければならない。

（発電所への取扱者以外の者の立入りの防止）
第 23 条　高圧または特別高圧の電気機械器具，母線等を施設する発電所又は変電所，開閉所もしくはこれらに準じる場所には，取扱者以外の者に電気機械器具，母線等が危険である旨を表示するとともに，当該者が容易に構内に立入る恐れがないように適切な処置を講じなければならない

上記の電技第 23 条については，次のような解釈が定められている。

【電技第 23 条に対応する】
（技術基準の解釈　第 43 条　発電所への取扱者以外の者の立入りの防止）
高圧または特別高圧の電気機械器具，母線等を施設する発電所又は変電所，開閉所もしくはこれらに準じる場所には，次の各号により構内に取扱者以外の者が立入らないように施設すること。
ただし，土地の状況により人が立入る恐れがない箇所については，この限りではない。
一　さく，へい等を設けること。
二　出入口に立入りを禁止する旨を表示すること。
三　出入口に施錠装置その他適切な装置を施設すること。

また，民間規程である『発変電規程(JEAC 5001-2000)』によると，以下の点を満足する必要がある。

【発変電規程】

（さく，へい等の設置）

第１－５条　発変電所において高圧または特別高圧の機械器具，母線等を施設する場合には，その構内に取扱者以外のものが立入らないよう，また，外部から人が容易に充電部分に近づかないようにさく，へい等を設け，かつ，その出入口に立入りを禁止する表示をするとともに，施錠装置その他適当な装置を施設しなければならない。ただし，土地の状況により人が立入る恐れがない箇所については，この限りではない。

（照明設備）

第５－18 条　発変電所には，監視，操作及び日常の点検手入れなどを安全，かつ，確実に行うため，必要な照明設備を施設しなければならない。

（巡視通路における保護さく等）

第５－19 条　日常巡視点検時の巡視通路及び点検位置が高圧又は特別高圧の露出充電部分に接近する場合には，取扱者が容易に露出充電部分に触れないよう，保護さく又は保護網を施設しなければならない。

（小動物侵入防止設備の施設）

第５－21 条　発変電所等の屋内電気設備及び 100kV 以下の屋外電気設備で，小動物により事故発生のおそれがある場合は，適当な設備を施設しなければならない。

発電所建屋を省略する場合は，上記の法的要件や民間規程に加えて，以下の事項についても注意を払って，設計する必要がある。

① 構造的な対応

発電所建屋を省略する場合，降雨・降雪および落石等に対する適切な対応が必要である。

② 使用環境への対応

発電所建屋を省略する場合，紫外線による材料の劣化や直射日光による温度変化等に対する適切な対応が必要である。

③ 施工・点検時への対応

発電所建屋を省略する場合,天井クレーン等が存在しないため,発電機器類の据付,点検時等への適切な対応が必要である。

３．３．２　発電所基礎・建屋の形式

簡易発電システムにおける発電所基礎・建屋は，それぞれの法的要件と使用環境を考慮し,適切な形式（省略を含む）を選定する。

【解説】

平成 16 年度に実施したモニタリング調査の結果から，発電所基礎や建屋には，様々な形式が見られた。それらの事例では,構造上，機能上，安全上の不具合等は確認されず，基本的に以下に示す法的要件を満足しているものと考えられる。

①『水技』　⇒　主に，構造上（強度），機能(確保)上の規定
②『電技』　⇒　主に，構造上（強度），機能(確保)上，安全上の規定
③『発変電規程』　⇒　主に，安全上，維持管理上の規定

また，構造，使用環境，施工，点検時に対する以下の事項に対応しているものと考えられる。

① 降雨・降雪，落石等への対応
② 紫外線による劣化，直射日光による温度変化への対応
③ 発電機器類の据付け，点検時等への対応

以上の対応等を考慮して，簡易発電システムにおける発電所基礎・建屋の形式選定例は表 3－8 に整理した。また，簡易発電システムに対応する発電所基礎・建屋の事例は表 3－9 に示す。

表 3－8　簡易発電システムにおける発電所基礎・建屋の形式の選定例

項　目	条　件	形　式	対応例等
発電所基礎	基本的な基礎形式	直接基礎	一般的，表 3－9①
	比較的規模が大きく，かつ，支持地盤が深い場合	ケーソン基礎	発電所としては特異なケース
	同　上	杭基礎	中～大規模発電所
水車，発電機基　礎	一般的水車	コンクリート（＋形鋼）	表 3－9②
	小規模水車（マイクロフランシス他）	形　鋼	農業用水利施設，工場内小規模発電設備等
	ゲート穴開け取水方式	ゲート等による支持	表 3－9③
	投込み水車等	アンカー等による固定	
建　屋	一般的な形式	天井クレーン省略（梁やフックのみ設置等）	表 3－9④
	トラッククレーン等で対応可能な場合	合理化建屋（屋根取外し可能）	
	小規模施設	簡易型建屋	表 3－9⑤～⑥
	屋外対応可能な場合	建屋省略	表 3－9⑦
	その他	既設建物利用	

表 3－9　簡易発電システムに対応する発電所基礎・建屋の事例

[発電所基礎]

① 直接基礎

[水車，発電機基礎]

② コンクリート（+形鋼）

③ ゲート等による支持

[建　屋]

④ 天上クレーン省略

開閉式の天上　　梁のみが設置されている

[建　屋]

⑤ 簡易型建屋

⑥ 簡易型建屋（制御盤への対応）

⑦ 建屋省略

３．３．３　設計に関する基本事項

発電所基礎の設計にあたっては，水圧管路，水車および発電機を支持するとともに，吸出し管を固定させ，上載荷重や地震荷重に耐え，かつ，水車・発電機の振動に対して十分に安全な構造となるよう設計する。

また，発電所建屋の設計にあたっては，電気機械設備の寸法および配置とともに，運転，保守，工事中の据付等を考慮して設計する。

【解説】

発電所基礎の設計あたっては，水圧管路，水車および発電機を支持するとともに，吸出し管を固定させ，上載荷重や地震荷重に耐え，かつ水車・発電機の振動（定格運転時の動的荷重や短絡時における動的荷重等）に対して十分に安全な構造となるよう設計する必要がある。

一般的に横軸発電機から基礎に作用する力は，停止時，定格運転時，短絡時および地震時のそれぞれの状態において，その方向（垂直，水平および水平直角方向）と大きさが異なったものとなる。また，その値の変動の傾向は，発電機の固定位置によっても異なっている。さらに，各位置，各方向の作用力は，一般に地震時又は短絡時において最大値を示すため，一概に地震時だけの検証では不十分となる。

したがって，発電所基礎の設計に際しては，水車および発電機の形式・配置から決定される作用力を的確に把握し，水車および発電機の荷重に耐える構造であることを，それぞれの荷重条件に応じて確認しなければならない。

なお，水車および発電機の形式・配置から決定される作用力については，一般に水車および発電機を，基礎に固定する際のアンカーボルトの計算用に提示されるものを流用することができる。

また，発電所建屋の設計にあたっては，電気機械設備の寸法および配置とともに運転，保守，工事中の据付等を考慮して設計する必要がある。さらにコストダウンに伴う発電所建屋の規模縮小・省略等による合理化は，発電機シャフトの短略，水車回転数の高速度化による水車，発電機の小型化，クレーンの改良・省略，付属機器の合理的な組合せ等，電気機械設備と一体に検討する必要がある。

なお，発電所基礎・建屋の設計にあたっては，既存資料に詳しく解説されているので，本設計マニュアルでは詳細な解説を省略した。したがって，発電所基礎・建屋の設計に関しては巻末資料－15 に示す参考資料等を参照されたい。

３．４　その他設備

簡易発電システムを構成するその他設備（取水設備，水圧管路，発電所基礎・建屋を除く）には，主に以下の設備がある。簡易発電システムにおいては，適用施設および当該地点の諸条件に合わせて,これら設備の設置の有無（省略）およびコストダウン設計を考慮したうえで，各設備が安全に機能する規模・構造にするとともに，いかなる状況下においても，適用施設の目的を妨げることのないように留意して設備を配置・設計する。

① 沈砂池
② 導水路
③ ヘッドタンク
④ 余水路
⑤ 放水路・放水口

【解説】

簡易発電システムにおいては，河川維持流量等放流設備，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道施設等の適用施設と，当該地点の諸条件に合わせて，各設備の設置の必要性を検討し，省略できる設備は省略することでコストダウンを図るとともに，各設備の設計においてもコストダウンを考慮したものとする。また，各設備は安全に機能する規模・構造であるとともに，いかなる状況下においても，適用施設の目的を妨げることのないように留意して配置・設計する必要がある。

なお，その他設備に関しては既存資料に詳しく解説されているので，本設計マニュアルでは詳細な解説を省略した。したがって，その他設備の設計およびコストダウンにあたっては,巻末資料－15 に示す参考資料等を参照されたい。

(1) 沈砂池

沈砂池は，水圧管路や水車等への影響が懸念される粒径以上の土砂を的確に沈降させ，排除できる規模・構造にするとともに，導水路への過剰な流入を防止する余水吐を設置する必要がある。

また，沈砂池の設計にあたっては，現地状況および水圧管路，水車等の材料特性とあわせて，沈砂池および水路の維持管理に支障を来たさない範囲で，合理化設計（沈砂池の縮小化）等を検討し，コストダウンを図る必要がある。

(2) 導水路

導水路は，取水口からヘッドタンクまで，発電使用水を安全に導水できる最も経済的なルート・規模・構造にする必要がある。

また，導水路の延長は，工事費に与える影響が大きいことから，導水路のルートおよび形式の選定にあたっては，当該地点の諸条件，通水断面，勾配，地形・地質および工期等を考慮して，最も経済的なものとする。

なお，導水路の形式には開水路と圧力水路とがあり，開水路には開きょ，蓋きょ，暗きょ，管，トンネル，圧力水路にはトンネル，管等がある。

ここで，導水路を管とする場合は一般市販管の採用も可能であり，採用する場合は巻末資料－12 に示す『一般市販管による水圧管路技術基準(案)』を準用するものとする。

(3) ヘッドタンク

ヘッドタンクは，発電所の負荷変動に伴う水圧管路流量と導水路流量との差を調整するとともに，流水中の土砂をここで最終的に沈殿除去し，水車に障害を与えない規模・構造にする必要がある。

また，ヘッドタンクは発電所と最短距離で結ぶ位置に設置するとともに，設計にあたってはヘッドタンクの小規模化等（巻末資料－15『中小水力発電ガイドブック(新訂 5 版)』参照）を検討し，コストダウンを図る必要がある。

(4) 余水路

余水路は，沈砂池やヘッドタンクの余水吐からの越流水を，安全に河川や既設水路に放流できる規模・構造にする必要がある。

余水路の設計にあたっては，余水路の省略（土木設備で対応する方法，放流バルブを併用する方法，デフレクタ放流を併用する方法）等を検討し，コストダウンを図る必要がある。

ここで，余水路を管とする場合は一般市販管の採用も可能であり，採用する場合は巻末資料－12 に示す『一般市販管による水圧管路技術基準(案)』を準用するものとする。

(5) 放水路・放水口

放水路は，水車から放出された発電使用水を，安全に河川や既設水路に導く規模・構造にする必要がある。

なお，放水路の断面は，負荷変動に伴う水位変化の軽減および損失落差の軽減のため，断面を大きめとし，放水庭の形状は，水車形式を考慮したうえで，損失水頭をできるだけ小さくし，水車からの放水が速やかに整流され，再び滑らかに漸縮して放水路へ流入するように設計する。

放水口は河川や既設水路への出口部になるので，河川や既設水路の流水や流砂により，破損しないようその周辺地形・既設構造物を考慮して，規模・構造にする必要がある。

３．５　コストダウンの要素

３．５．１　各施設の要素技術適合性

簡易発電システムにおける土木設備に対しては，各適用施設に対する要素技術の適合性を考慮したうえ，適切にコストダウンを図るものとする。

【解説】

簡易発電システムの土木設備におけるコストダウンを図るためには，各適用施設に対する要素技術の適合性を的確に把握する必要がある。

そのため，各適用施設の地形および流況の特性を考慮し，各要素技術の適合性について把握する必要がある。表 3－10 はその一例である。

この表は，簡易発電システムとして小水力発電所を計画する場合の指標となるが，実際の計画立案に際しては，当該計画発電所の状況や諸条件を考慮し，経済性や保守管理を含めて総合的に評価する必要がある。そのうえで，適切な設備を選定し，コストダウンを図ることになる。

表 3－10　各適用施設の各要素技術の適合性[土木設備]

技術要素＼適用施設		河川維持流量等放流設備	砂防ダム	農業用水利施設			上･工業用水利施設		下水道施設
		ﾀﾞﾑ･取水堰		ダム	取水堰	落差工･急流工	ﾀﾞﾑ･取水堰	落差工･急流工	放水路･放水口
取水方式	浸透水	×	○	×	○	○	○	○	○
	越流水付着	×	○	×	×	○	×	×	○
	集水井	×	○	×	○	×	○	○	×
	水クッション	×	○	×	○	×	○	○	×
	バースクリーン	○	○	○	○	○	○	○	○
	嵩上げ	×	×	×	×	×	×	×	×
	水路落差工	×	×	×	×	○	×	×	○
	横取り	○	○	○	○	×	○	○	×
	堤体穴開け	○	○	○	○	×	○	○	×
	ゲート穴開け	○	×	○	○	×	○	○	×
	既設管分岐	○	×	○	×	×	○	×	×
	サイフォン	○	○	○	○	○	○	○	○
水路管圧	硬質塩化ビニル管	○	×	○	○	○	○	○	○
	ポリエチレン管	○	○	○	○	○	○	○	○
	耐圧ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝﾘﾌﾞ管	×	○	×	○	○	○	○	○
発電所	基礎合理化	○	○	○	○	○	○	○	○
	建屋合理化	○	○	○	○	○	○	○	○

注；○ 適合性が高い，× 適合性が低い

３．５．２　コストダウンの要素

簡易発電システムにおける土木設備では，各適用施設の特性に応じたコストダウンの要素を整理して,その可能性を検討する。

【解説】

簡易発電システムにおける土木設備によるコストダウンを図るためには，前項で整理した各適用施設に対する要素技術の適合性に加え,各適用施設の特性に応じたコストダウンの要素について整理し,その要素によるコストダウンの可能性について検討するものとする。

各適用施設の特性に応じたコストダウンの要素を表 3−11 に整理した。なお,この表は,各施設の一般的な条件に対して整理したものなので，実際の計画立案に際しては，当該計画発電所の状況や諸条件を考慮し，適正に評価する必要がある。

表 3−11 各適用施設のコストダウンの要素の例

適用施設		適用箇所または条件	コストダウン可能な要素
河川維持流量等放流設備	ダム	ダム自体の利用	沈砂池、ヘッドタンク、余水吐の省略
		水位変動が小さい場合	定落差対応の水車の選択
		流量変動が小さい場合	定流量対応の水車の選択
			水圧管路の径の最小化
		既設利水放流管が利用可能な場合	水圧管路の短縮
			分岐管方式の取水形式の採用
	取水堰	堰自体の利用	ヘッドタンク、余水吐の省略
		流量変動が小さい場合	定落差・定流量対応の水車の選択
			水圧管路の径の最小化
		砂礫流入が少ない場合	沈砂池の省略
		取水が越流水付着、水クッション方式の場合	沈砂池、除塵設備、余水吐の省略
		既設ゲートへの取付けが可能な場合	ゲート穴開けやサイフォンの採用
砂防ダム		取水量の変動が小さい場合	定落差・定流量対応の水車の選択
			水圧管路の径の最小化
		取水が浸透水、越流水付着、水クッション方式の場合	沈砂池、除塵施設、余水吐の省略
農業用水利施設	ダム・取水堰	[河川維持流量等放流設備のダムまたは取水堰に同じ]	
	落差工	落差工(水路)自体の利用	沈砂池、ヘッドタンクの省略
		流量変動が小さい場合	定落差・定流量対応の水車の選択
			水圧管路の径の最小化
		流量の期別変動が大きい場合	水車・発電機の複数台設置による発電効率最適化
		水路内への水車を設置する場合	水圧管路の省略
			水車基礎の合理化・省略
	急流工	急流工(水路)自体の利用	沈砂池、ヘッドタンクの省略
		流量変動が小さい場合	定落差・定流量対応の水車の選択
			水圧管路の径の最小化
上水道･工業用水利施設	ダム・取水堰	[河川維持流量等放流設備のダムまたは取水堰に同じ]	
	落差工・急流工	処理後の流水を利用する場合	除塵施設の省略
		[その他、農業用水利施設の落差工・急流工に同じ]	
下水道施設	放水路・放水口	下水道施設自体の利用	除塵施設の省略
		[その他、農業用水利施設の落差工・急流工に同じ]	
各施設共通		水圧管路に対して	一般市販管の採用
		系統連系が不要の場合	保護装置の簡略化
		低圧連系となる場合	高圧連系設備の省略
		発電機	永久磁石発電機の採用
		制御・保護装置	汎用PLCの採用
		発電所基礎	直接基礎方式の採用
		発電所建屋	簡略化、省略

３．５．３　各要素技術によるコストダウン

簡易発電システムにおける土木設備によるコストダウンは，各要素技術に必要とされる機能と性能を考慮したうえ，トータルコストの低減を目的に実施する。

【解説】

簡易発電システムにおける土木設備によるコストダウンを図るためには，各要素技術に必要とされる機能と性能を考慮し，イニシャルコストとランニングコストを十分に評価したうえ,最終的にはトータルコストの低減を目的に実施しなければならない。

(1) 取水設備によるコストダウン

簡易発電システムにおける取水設備においては,“少ない水を如何にして効率よく取水するか”ということが最大の課題となる。また，開発事例調査からもわかるように，小水力発電におけるトラブル発生の原因は，取水口部に対する塵芥の流入・閉塞によるものが多い。したがって，取水口についてはイニシャルコストのみでなく，ランニングコストについても十分に検討する必要がある。

a イニシャルコスト

取水設備に係るイニシャルコストを低減させるためには，自然河川を含め，できるだけ手をかけないで取水を可能とすることである。具体的には河川の自然な淵を利用する横取り取水方式等が有利となる。この方法は農業用，上水道・工業用，下水道の水路から取水を行う場合においても効果的である。さらに，既設管分岐取水方式は取水部自体が水圧管路の一部であり,取水口自体が既存施設の利用とも評価できるので,大きなコスト低減が可能となる。

また，浸透水取水方式や集水井取水方式等は，沈砂池やスクリーン等を省略できるという面で有利であるが,単位面積当りの取水量が小さいため,相応の施工面積が必要となる。

その他,サイフォン取水方式はダム等の既存施設の改造を不要とするため,例えば堤体穴開け取水方式やバースクリーン取水方式に比較して，構造的にもコスト的にも有利になる可能性がある。しかし，サイフォン取水方式は真空ポンプが必要になるため,イニシャルコストに加え,機械設備に関するメンテナンスが必要となる。

取水設備に係るイニシャルコストについては，当該取水地点の地形や地質,流況，取水量，管理条件等を総合的に評価したうえで，適用できる要素技術を適切に評価してコストダウンを図る必要がある。

b ランニングコスト

取水設備に係るランニングコストとしては，主に取水口の塵芥処理（取水口スクリーンにおける除塵）や取水口に流入した砂礫の処理に掛かる費用が，大きなものとしてあげられる。簡易発電システムは，発電電力量が小さいので運転保守に掛けるコストはできるだけ低く抑えたい。このため，可能な限り塵芥処理等のランニングコストを低減させなければならない。

そのような面から，取水設備には浸透水取水方式や集水井取水方式，既設管分岐取水方式等が有利になるが，浸透水取水方式や集水井取水方式は目詰まりの問題や単位面積当りの取水量が小さいこと等，問題もある。また，イニシャルコストは掛かるが，ランニングコストの低減には除塵機の設置が効果的な場合もある。

取水設備に係るランニングコストについては，当該水力発電所の現場状況によって対策方法が異なってくるため，その費用についても随時，適切に判断する必要がある。

c トータルコスト

取水設備に係るトータルコストは，当該発電所取水地点の地形・地質，既設構造物の規模，取水量，流況，管理条件等によって大きく変動する。したがって，計画段階においては，現場状況と各取水方式の機能を十分に整理・検討し，全体工事費，維持管理条件等を把握して，総合的な評価のもとに取水方式を決定する必要がある。

(2) 水圧管路によるコストダウン

簡易発電システムにおける水圧管路においては，基本的に一般市販管の採用によるコストダウンが基本となるが，管自体の費用（資材費）のほかに，管の重量や継手の形式から評価される施工性，粗度係数の違いによる管径の選択，塗装等に要するメンテナンス費用等を，総合的に評価しなければならない。

a イニシャルコスト

水圧管路に係るイニシャルコストとしては，管の資材費と布設費のほか，管の選定において粗度係数の違いによる必要管径の相違や，各管種の対応管径，対応内圧を考慮する必要がある。

一般に，塩ビ管は，資材費が比較的安く，軽いこととゴム輪継手であることから施工性も良い。しかも，ある程度の内圧まで耐えられるが，適用管径が比較的小さく，紫外線に対しても何らかの防護が必要となる。

ポリ管は，資材費が高いものの，管が一体化されるため，ある程度自由な曲線配置が可能となり，曲管等が不要となることから総合的には経済的になる場合もある。しかも，ある程度の内圧まで耐えられるが，融着継手になるためゴム輪継手に比べれば施工性が若干低く，適用管径も比較的小さい。

リブ管のゴム輪継手の場合は，資材費が比較的安く，適応管径も大きく，継手の施工性も良いが,対応内圧は低い。リブ管の融着継手では，ポリ管と同様に，資材費が比較的高いものの，管が一体化されるため,ある程度自由な曲線配置が可能となり，曲管等が不要となることから，総合的には経済的になる場合もある。しかも，適用管径も比較的大きいが，融着継手になるためゴム輪に比べれば施工性が若干低く，ポリ管に比べて適応内圧は比較的小さくなる。

その他,塩ビ管,ポリ管,リブ管は粗度係数が比較的低いため,同程度の有効落差を確保するためには,鋼管やFRP(M)管に比べて管径を小さく設定することが可能となる。また，曲管については，各管種によって費用が異なるため,その有無（数）によって全体資材費が大きく増加する場合がある。

さらに,各管種の施工性は,重機の入りやすさや曲線区間の多さ等の現場条件にも左右される。

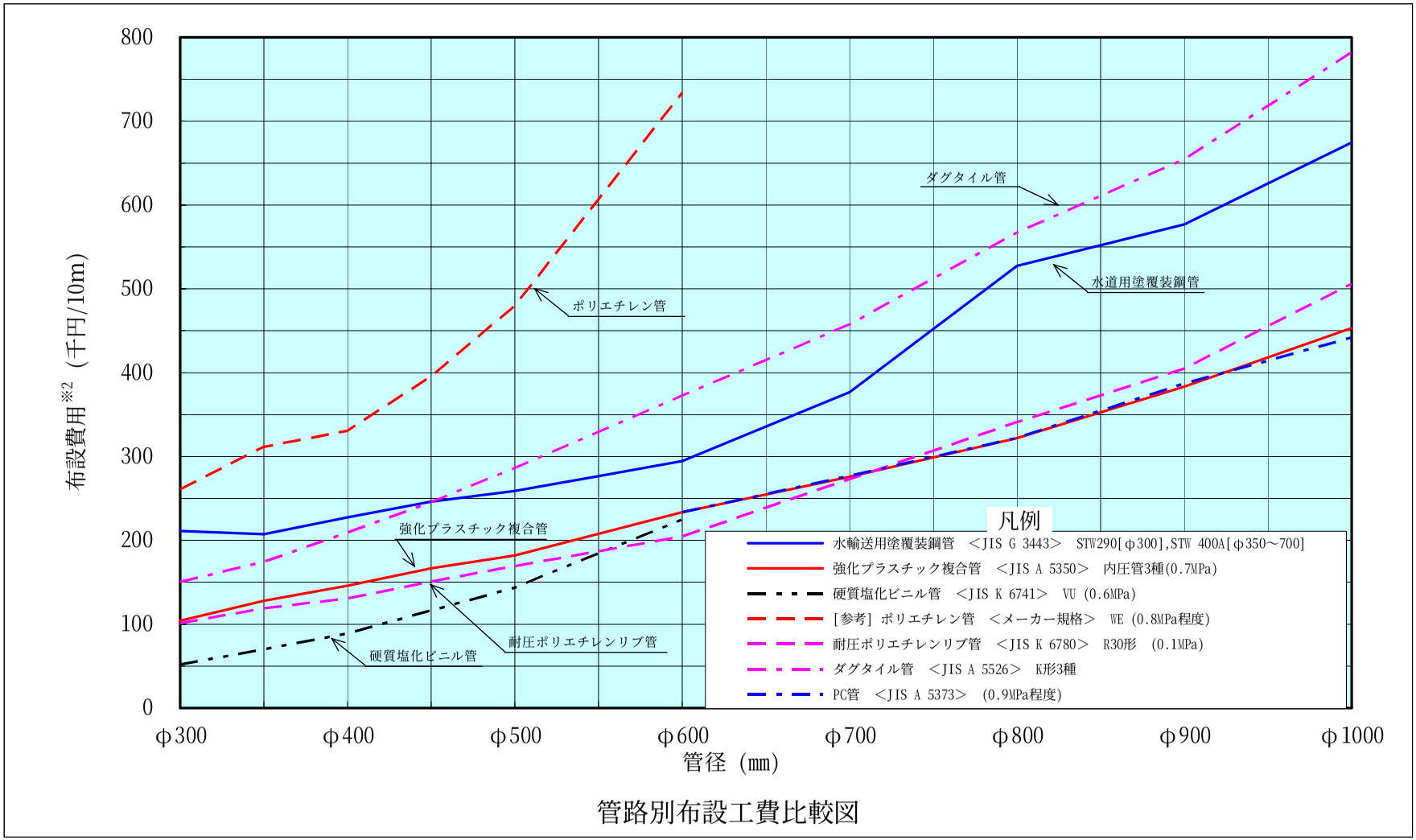
以上のように,水圧管路に係るイニシャルコストは様々な要因により左右されるため,現場の状況と各管種の特性を考慮して,適用できる管種を適切に評価してコストダウンを図る必要がある。

なお，参考として，埋設を前提とした主要管種の布設工事費（労務費，資材費,機械費，雑費）を積算し,比較を行った。

積算にあたっては，単純に直管（異形管などは含まず）の埋設を前提とし，床掘，基礎工，埋戻しなどは計上せず，布設工事の直接費（資材費，機械損料，労務費，その他雑費）のみとした。なお，資材費は以下のとおり仮定して算出した。

1) 基本的に実勢価格（『2006.9積算資料』経済調査会）を用いた。
2) 口径の大きい塩ビ管の単価は『積算資料』に記載されていないため，一部の県が内示価格としているものを参考に計上した。
3) ポリ管の単価は『積算資料』に記載されていないため，メーカー提示価格で計上した。したがって，布設工事費は参考値とした。

試算結果（10m当たりの埋設管路敷設工事費（資材費込み））を図3－8に示す。



管路別布設工費比較図

※1；凡例内の管材名の横の(　)は、設計内圧（静水圧＋水撃圧）を示す。なお，鋼管とダクタイル管は,1MPa程度は問題なく対応可能。
※2；布設工費は資材費及び諸雑費を含む。床堀り・埋戻し費用は含まない。

図 3－8　10m 当たりの埋設管路敷設工事費（資材費込み，直管のみ（異形管含まず））

b ランニングコスト

水圧管路に係るランニングコストとしては,一般的に鋼管での塗装が考えられるが,一般市販管を使用する場合には塗装は無用である。

一般市販管を常用している農業用水や上水道では，基本的にメンテナンスフリーであり，比較的安定した利用となる水力発電においても，基本的にメンテナンスフリーとして問題ない。

したがって，水圧管路に係るランニングコストは，定期的な点検等，管理面に掛かる費用を考慮するものとする。

なお,ゴム輪継手の管を露出配管とするような場合は,ゴム輪やシール材の交換等が必要になる可能性がある。

c トータルコスト

水圧管路に係るトータルコストは，当該配管地点の地形・地質，対象流量，対象内圧，施工制約条件，管理条件等によって大きく変動する。したがって，計画段階では，現場状況と設計条件,各管種の機能を十分に整理・検討し，全体工事費，維持管理条件等を把握して，総合的な評価のもとに採用管種を決定する必要がある。

(3) 発電所基礎・建屋によるコストダウン

発電所基礎・建屋については,ランニングコストに係る費用が比較的小さいため,イニシャルコストの低減が基本となる。

発電所基礎に関しては，電気機械の形式・配置から決定される荷重を考慮し，安定して支持する必要がある。そこで，発電所基礎は適正な安定計算を実施し，必要十分な大きさ（適正規模）を決定することにより，基礎のプレキャスト化や水車，発電機との一体化により，施工面での工期短縮，コストダウンが可能になると考えられる。

一方，発電所建屋については，保安や使用環境を考慮したうえでその省略について検討し，その際には水車，発電機等の電気設備を露出型にすることによる費用増分を適切に把握して，総合的に評価する必要がある。

また，建屋に付随するクレーン等については，施工時およびメンテナンス時における対応(簡易な門型クレーンの設置やトラッククレーンの採用等)を検討しておく必要がある。

なお，各要素技術を導入してコストダウンを図った概略発電計画を，巻末資料－４のケーススタディに示す。

表3－12　各要素技術によるコストダウン

	取水設備	水圧管路	発電所基礎・建屋
イニシャルコスト	**(1)横取り取水方式の採用** ・できるだけ手をかけないで取水が可能。 ・農業用，上水道・工業用，下水道の水路から取水を行う場合においても効果的。 **(2) 既設管分岐取水方式の採用** ・取水口自体が既存施設の利用のため大きなコスト低減が可能。 (3)浸透水取水方式や集水井取水方式の採用 ・沈砂池やスクリーン等を省略できる。 ・ただし，単位面積当りの取水量が小さいため，施工面積が必要となる。 **(4)サイフォン取水方式** ・既存施設の改造が不要。 ・だたし，真空ポンプが必要で，イニシャルコストに加え，機械設備に関するメンテナンスが必要。 **(5)全体** ・地形や地質，流況，取水量，管理条件等を総合的に評価し，適用できる要素技術を適切に評価してコストダウンを図る必要がある。	**(1) 塩ビ管の採用** ・粗度係数が小さく，資材費も比較的安い。 ・重量が軽く，ゴム輪継手であることから施工性が良い。 ・ただし，適用管径が比較的小さく，紫外線に対しても何らかの防護が必要。 **(2) ポリ管の採用** ・粗度係数が小さい。 ・資材費は高いが，融着継手で管が一体化されるため，ある程度自由な曲線配置が可能で，曲管等が不要となる。 ・ただし，融着継手のため，ゴム輪継手に比べ，施工性が若干低く，適用管径も比較的小さい。 **(3) リブ管(ゴム輪継手) の採用** ・粗度係数が小さい。 ・資材費が比較的安く，適応管径も大きく，継手の施工性も良い。 ・ただし，対応内圧は低い。 **(4) リブ管(融着継手)** ・粗度係数が小さい。 ・資材費は高いが，融着継手で管が一体化されるため，ある程度自由な曲線配置が可能で，曲管等が不要となる。 ・ただし，融着継手のため，ゴム輪継手に比べ，施工性が若干低く，適応内圧もポリ管に比べて比較的小さい。 **(5)全体** ・現場の状況と各管種の特性を考慮して，適用できる管種を適切に評価する。	**(1)発電所基礎** ・基礎のプレキャスト化。 ・水車，発電機一体化による施工面での工期短縮。 **(2)建　屋** ・建屋の省略。 ・クレーンの簡略化。
ランニングコスト	・目詰まりの問題や単位面積当りの取水量が小さい等，問題はあるが，浸透水取水方式，集水井取水方式，既設管分岐取水方式等が有利。 ・ランニングコストの低減には除塵機の設置が効果的な場合もある。 ・現場状況によって対策方法が異なるため，その費用についても随時，適切に判断する必要がある。	・基本的にメンテナンスフリー。 ・定期的な点検等，管理面に掛かる費用を考慮する。	－
トータルコスト	・現場状況と各取水方式の機能を十分に整理・検討し，全体工事費，維持管理条件等を把握して，総合的な評価のもとに取水方式を決定する。	・現場状況と設計条件，各管種の機能を十分に整理・検討し，全体工事費，維持管理条件等を把握して，総合的な評価のもとに採用管種を決定する。	－

第４章　電気機械設備

簡易発電システムを構成する主要機器は，水車，発電機及び制御・保護装置であり，基本的に通常の水力発電所に設置される電気機械設備と何ら変るところはない。
ただし，これら機器は簡易発電システム全体に占める価格比率が大きく，簡易発電システムの構築にあたっては，そのコストダウンに向けた機器簡素化，付属設備省略，汎用品の採用等を考慮し，かつ，信頼性低減に繋がらない検討を行う必要がある。

【解説】

電気機械設備では，水車，発電機及び制御・保護装置を対象として要素技術の調査・検討を行った。ここで，コストダウンに向けた機器簡素化，付属装置省略，汎用品の採用等は，関係法令を遵守する観点から，水車に関しては『発電用水力設備に関する技術基準を定める省令，解釈』，発電機及び制御・保護装置に関しては『電気設備に関する技術基準を定める省令，解釈』，系統連系に関しては，指針として制定されている『電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン』，また，電気技術規程である『系統連系規程』に抵触しないことを確認する必要がある。

関係法令との関わりは，第８章「関係法令・基準等」で具体的に触れる。ここでは水車，発電機及び制御・保護装置のそれぞれについて，その開発状況や簡易発電システムへ適用可能な機器の選定，また，適用する際の課題・技術検討結果等について説明する。

４．１　水車

小水力資源を有効に活用し，年間発電電力量を増加するためには，その地点に応じた最適な水車形式の選定が重要である。水車形式は地点特性の落差・流量及びその変動範囲と価格等を考慮して最適なものを選定する。

【解説】

簡易発電システムにおいても，単にイニシャルコストダウン等の要求だけで水車性能を無視した設計は発電電力量の増加とならず，結果的に経済性を確保できないため避けなければならない。また，施設場所，メンテナンス，ランニングコスト，発電機や制御・保護装置との協調も考慮する必要がある。

基本的に水車形式は発電機種類には影響しないが，その連結方法については，直結式とするかギヤ又はベルト駆動方式により増速又は減速するかの検討が必要である。また，制御・保護方式については，取水設備で流量調整機能を有するか，水車本体で可動羽根制御が必要であるか等，水車形式の選定で影響を受ける。

４．１．１　水車の分類

水車は，落差や流量に対応して様々な種類がある。

【解説】

水車は JEC-4001『水車及びポンプ水車』において，水車出力 100kW 以上を対象に軸方向やランナ数等に応じた細かい分類がなされているが，水車出力 100kW 未満に対してもこの規格の準用を推奨している。

図 4－1 に水車の分類を示す。

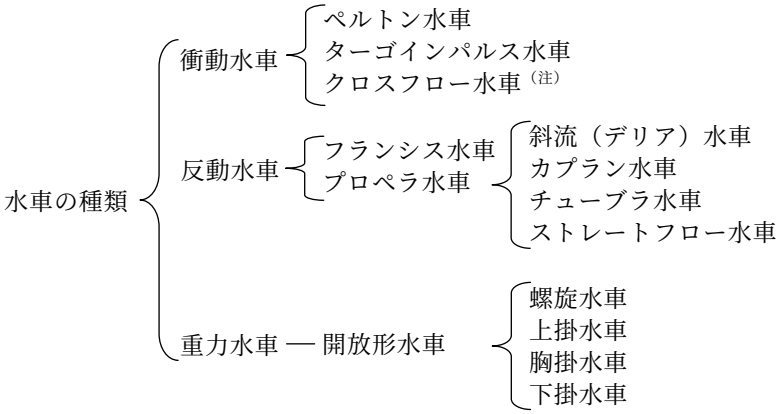


図 4－1　水車の分類

一般に水車形式は衝動水車,反動水車の二つに大別され，国内での適用事例は少ないが,これに重力水車が加わる形で水車は整理される。図 4－1 の中で，注に示すクロスフロー水車は，衝動水車及び反動水車の特性を併せ持つ水車である。

４．１．２　水車形式の選定

簡易発電システムへ適用可能な水車形式の構造，適用範囲，諸特性を考慮し，開発動向を踏まえ，水車形式は，落差と流量を基本諸元として，水車形式選定図から選定する。

【解説】

表 4－1 は，簡易発電システムへ適用可能な水車形式とその概略仕様を整理したものである。これをもとに作成した水車形式選定図を図 4－2 に示す（ただし，重力水車は除く）。水車形式は落差と流量を基本諸元として選定する。

表 4－1　簡易発電システム適用可能水車の種類と概略仕様（1／3）

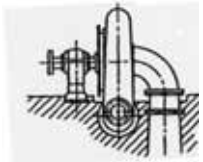
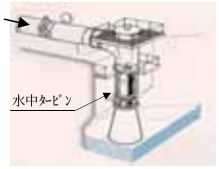
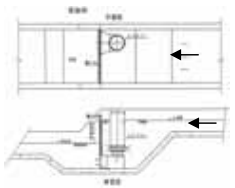
種　　類	概略図	構造概要	適用範囲	備　　考
反動水車				
①横軸ﾌﾗﾝｼｽ水車 (小水力用)		流水がﾗﾝﾅの周辺から流入し，ﾗﾝﾅ内において軸方向に向きを変えて流出するもの。	出力：50～4,000kW 落差：10～300m 流量：0.3～10m³/s	流量を調整するｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝを設ける必要があり，構造が複雑である。 変流量・変落差対応の運転が可能である。
②横軸固定羽根ﾌﾟﾛﾍﾟﾗ水車 (発電機流水路外設置)		円筒ﾌﾟﾛﾍﾟﾗ水車の一種であり，水車上に発電機を搭載(流水路外)し，水車回転部と発電機とはﾍﾞﾙﾄで直結されているもの。	出力：1～300kW 落差：2～20m 流量：0.07～3m³/s	従来のﾌﾟﾛﾍﾟﾗ水車を簡素化し，低落差，小流量領域でも対応可能としたもの。 ﾗﾝﾅﾍﾞｰﾝあるいはｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝを可動とすることにより，ある程度の変落差・変流量には対応可能。
③横軸固定羽根斜流水車 (発電機流水路内設置)		円筒斜流水車の一種であり，水車軸に発電機を直結(流水路内)したもの。	出力：3～100kW 落差：3～150m 流量：0.01～1m³/s	従来の斜流水車を簡素化し，低落差，小流量領域でも対応可能としたもの。 ﾗﾝﾅﾍﾞｰﾝ，ｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝが固定のため，水車での流量調整運転は不可能。流量は落差によって一義的に決まってしまうため，変落差対応もできない。流量調整が必要な場合，ｵﾘﾌｨｽや流量調整用ﾊﾞﾙﾌﾞ等による損失水頭調整により，手動で行う必要がある。
④ﾎﾟﾝﾌﾟ逆転水車		標準立軸(横軸)ﾎﾟﾝﾌﾟを逆転させて使用する。ﾗﾝﾅ固定用ﾈｼﾞを標準ﾎﾟﾝﾌﾟに対し，逆に切る必要がある。流入方向がﾎﾟﾝﾌﾟの場合と比較して反転するため，ﾗﾝﾅ形状がﾎﾟﾝﾌﾟの場合と逆になる。	出力：1～200kW 落差：6～80m 流量：0.02～1m³/s	ｷｬﾋﾞﾃｰｼｮﾝ特性が厳しく，羽根形状の修正が場合によって必要である。軸受や封水部の寿命が短い。無拘束速度対応が必要である。 ﾗﾝﾅﾍﾞｰﾝが固定のため，水車での流量調整運転は不可能。流量は落差によって一義的に決まってしまうため，変落差対応もできない。流量調整が必要な場合，ｵﾘﾌｨｽや流量調整用ﾊﾞﾙﾌﾞ等による損失水頭調整により，手動で行う必要がある。
⑤水中ﾀｰﾋﾞﾝ		水中ﾎﾟﾝﾌﾟを逆転させて使用する。ﾗﾝﾅ固定用ﾈｼﾞを標準ﾎﾟﾝﾌﾟに対し，逆に切る必要がある。流入方向がﾎﾟﾝﾌﾟの場合と比較して反転するため，ﾗﾝﾅ形状がﾎﾟﾝﾌﾟの場合と逆になる。	出力：10～500kW 落差：2.8～20m 流量：0.4～10m³/s	発電機が直結され，ｺﾝﾊﾟｸﾄ化が可能である。流量を調整するｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝはない。水中形のため，軸受や封水部の寿命が短い。無拘束速度対応が必要である。 ﾗﾝﾅﾍﾞｰﾝ，ｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝが固定のため，水車での流量調整運転は不可能。流量は落差によって一義的に決まってしまうため，変落差対応もできない。流量調整が必要な場合，ｵﾘﾌｨｽや流量調整用ﾊﾞﾙﾌﾞ等による損失水頭調整により，手動で行う必要がある。
⑥投げ込み式水車		超低落差用水車として開発された立軸ﾌﾟﾛﾍﾟﾗ水車の一つで，既設水路内に堰板を設置し，その落差を利用するもの。	出力:1～12kW 落差:1～3m 程度 流量:0.2～2.0m³/s	水車，発電機が同一の筐体に収納され，この筐体を落差工に据えるだけの簡単なものである。 定落差運転が原則であり，水車での流量調整運転は不可能。

表 4－1　簡易発電システム適用可能水車の種類と概略仕様（2／3）

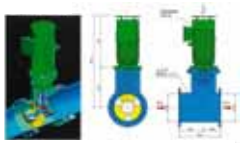
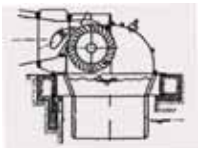
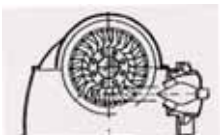
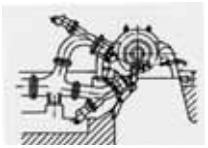
種　　類	概略図	構造概要	適用範囲	備　　考
反動水車				
⑦直交軸流形水車		汎用のゲートポンプを水車として使用するポンプ逆転水車の一種である。立軸でも横軸でも設置方向を選ばず，直交軸内のギヤ構成により増減速ができる。	出力：1～200kW 落差：2～8.5m 流量：0.08～4m³/s	ﾗﾝﾅﾍﾞｰﾝが固定のため，水車での流量調整運転は不可能。流量は落差によって一義的に決まってしまうため，変落差対応もできない。流量調整が必要な場合，ｵﾘﾌｨｽや流量調整用ﾊﾞﾙﾌﾞ等による損失水頭調整により，手動で行う必要がある。
⑧ｻｲﾌｫﾝ式水車		堰の上流側に水車を設置し，ﾄﾞﾗﾌﾄﾁｭｰﾌﾞで堰を越して放流する構造である。始動時は発電機を電動機，水車をﾎﾟﾝﾌﾟとし，ｻｲﾌｫﾝ効果の発生による自然流下で発電を開始する。停止時は空気を注入し，ｻｲﾌｫﾝ効果を喪失させる。	出力：0.7～50kW 落差：1.5～6m 流量：0.15～1.4m³/s	ﾗﾝﾅﾍﾞｰﾝ，ｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝが固定のため，水車での流量調整運転は不可能。流量は落差によって一義的に決まってしまう。
衝動水車				
⑨ｸﾛｽﾌﾛｰ水車		衝動水車および反動水車の特性を併せ持ち，流水が円筒形ﾗﾝﾅに軸と直角方向に流入し，ﾗﾝﾅを貫通して流出するもの。	出力：10～1,000kW 落差：5～200m 流量：0.1～8m³/s	変流量・変落差対応の運転が可能である。
⑩ﾀｰｺﾞｲﾝﾊﾟﾙｽ水車		ｼﾞｪｯﾄ流をﾗﾝﾅの側面から入射させるので，ﾋﾟｯﾁ円が小さくなり，回転速度を高くできる点がﾍﾟﾙﾄﾝ水車と異なる。	出力：100～8,000kW 落差：25～300m 流量：0.2～8m³/s	変落差対応の運転が可能である。 ﾆｰﾄﾞﾙを可動とすれば，変流量にも対応可能。
⑪ﾍﾟﾙﾄﾝ水車(小水力用)		ﾉｽﾞﾙから流出するｼﾞｪｯﾄをﾗﾝﾅ周辺ﾊﾞｹｯﾄに作用させる構造のもの。	出力:0.5～4,000kW 落差:17～500m 程度 流量:0.01～2m³/s	回転速度が低いため，機器体格が大きい。 変落差対応の運転が可能である。 ﾆｰﾄﾞﾙを可動とすれば，変流量にも対応可能。

表 4－1　簡易発電システム適用可能水車の種類と概略仕様（3／3）

種　類	概略図	構造概要	適用範囲	備　考
重力水車				
⑫下掛水車		流水がﾗﾝﾅ下部から流入するもので，ﾗﾝﾅが開放されており，水車軸の中心にｷﾞﾔが収納されたもの。	出力：6.1～120kW 落差：1～2m 流量：1～10m³/s	構造が簡単である。水車直径は落差の約 3～4 倍，水車幅は流量 1m³/s につき 1m である。 回転速度が遅いので，ｷﾞﾔで増速する必要がある。
⑬上掛水車		流水がﾗﾝﾅ上部から流入するもので，ﾗﾝﾅが開放されており，水車軸の中心にｷﾞﾔが収納されたもの。	出力：4～20kW 落差：2～5.5m 流量：0.2～0.6m³/s	構造が簡単である。水車直径は落差の約 90～95%程度，水車幅は流量 0.1m³/s につき 0.5m 程度である。 回転速度が遅いので，ｷﾞﾔで増速する必要がある。
⑭螺旋水車		流水が螺旋状のﾗﾝﾅ上部から主軸方向に流入する。主軸上部にｷﾞﾔが収納されているもの。	出力：3～300kW 落差：1～10m 流量：0.3～5.5m³/s	魚が通過できる(上流→下流)水車として知られている。 回転速度が遅いので，ｷﾞﾔで増速する必要がある。

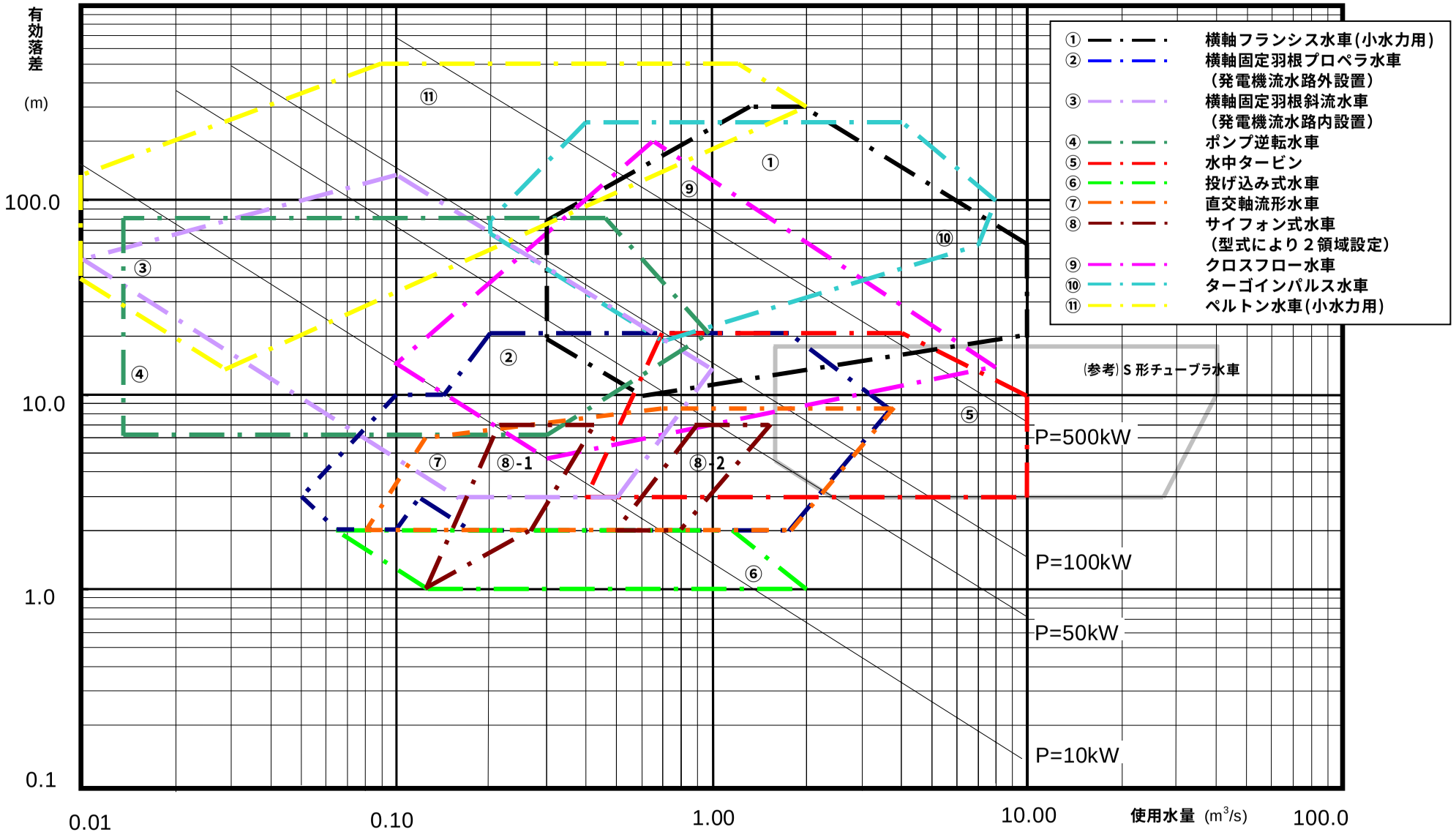

有効落差
(m)
100.0
10.0
1.0
0.1
0.01
0.10
1.00
10.00
使用水量 (m³/s)
100.0
① 横軸フランシス水車(小水力用)
② 横軸固定羽根プロペラ水車
(発電機流水路外設置)
③ 横軸固定羽根斜流水車
(発電機流水路内設置)
④ ポンプ逆転水車
⑤ 水中タービン
⑥ 投げ込み式水車
⑦ 直交軸流形水車
⑧ サイフォン式水車
(型式により２領域設定)
⑨ クロスフロー水車
⑩ ターゴインパルス水車
⑪ ペルトン水車(小水力用)
(参考) S 形チューブラ水車
P=500kW
P=100kW
P=50kW
P=10kW
⑧-1
⑧-2

図 4－2　水車形式選定図

４．１．３　水車の設置方式

機器構造・機器配置の構成から，特にメンテナンス面で水車の設置方式毎の特質も考慮して水車を選定する。

【解説】

表 4−2 は，水車の設置方式毎の特質を整理したものである。機器構造・機器配置の構成から，特にメンテナンス面でのメリット・デメリットを整理した。

メンテナンスには巡視点検，普通点検，定期点検，細密点検，特別細密点検（オーバーホール）と幅広いが，水車廻りを抜水して機器分解を伴う細密点検，特別細密点検では，どの水車設置方法でも条件は同じであり，特質としての差異は見られない。

表 4−2　水車設置方式毎の特質（1/2）

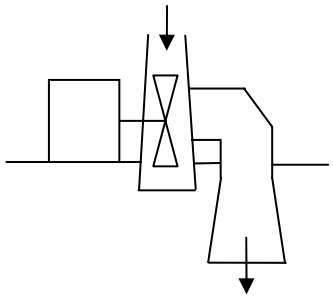
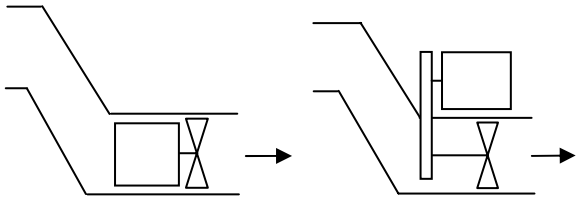
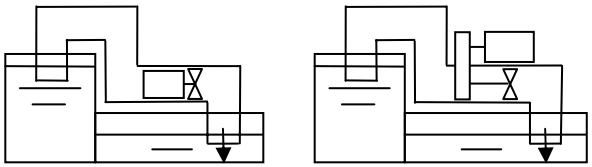
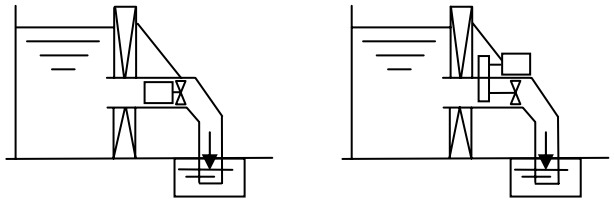
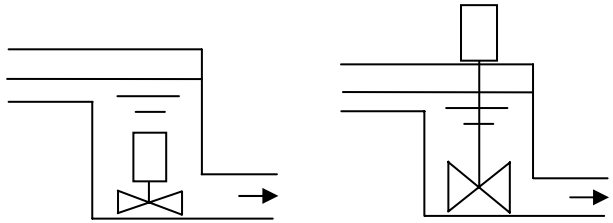
設置方式	水車構成図	特質事項
①通常設置		（有利な点） • 多数の実績を有する設置方法であり，設置スペースが大きいが，設置は容易である。 • 機器が露出しているため，分解を伴わない点検は容易である。 （不利な点） • 低落差地点においては，吸出し高さ確保のために，別途土木工事を伴う場合がある。 • 機器設置のための水路改造および機器設置スペースが必要である。
②管路内設置	既設管内設置 	（有利な点） ・ 既設配管があれば，水圧管路の新設が不要である。 ・ 機器設置スペースおよび土木工事が最小限で済む。 （不利な点） ・ バイパス管の設置が必要な場合がある。 ・ 管路内設置のため，分解を伴わない点検は困難である。
	サイフォン管内設置 	（有利な点） ・ ゲートバルブ設置や管路内設置と比較すると，適用可能施設が多い。 ・ 機器設置スペースおよび土木工事が最小限で済む。 （不利な点） ・ 大気開放で落差変動や出力変化を発生することがある。 ・ 真空ポンプなど付属設備が必要である。 ・ 機器はサイフォン管内設置のため，分解を伴わない点検は困難である。

表 4－2　水車設置方式毎の特質（2/2）

設置方式	水車構成図	特質事項
③ゲート直接設置		（有利な点） ・　機器設置スペースおよび土木工事が最小限で済む。 （不利な点） ・　点検がゲート上で行うことになるため困難である。 ・　機器の据付けが困難である。 ・　発電機水路外設置の場合，下流の洪水水位によっては適用できない。適用する場合は，防水構造とする必要がある。 ・　水車，発電機の重量が大きい場合は，ゲート巻上機容量の検討が必要である。
④水中設置		（有利な点） ・　比較的低落差の箇所に適する設置方法である。 ・　機器の据付けが容易である。 ・　機器設置スペースおよび土木工事が最小限で済む。 （不利な点） ・　水中設置のため，水車，発電機の分解を伴わない点検は困難である。 ・　発電機水路外設置の場合には，水車と発電機とを結合する軸が長くなり，軸強度等の検討が必要になる。

４．２ 発電機

発電機は，運転条件・保守性および経済性を考慮して選定する。

【解説】

発電機は水車のように，適用施設や地点特性で特に留意する事項はなく，水車形式が落差・流量およびその変動範囲と価格等を考慮して最適なものを選定するのに対して，発電機は運転条件，保守性および経済性を考慮して選定する。また，系統連系，単独負荷への電力供給（自立運転）等の運転区分によっては，選定不可な発電機もあるので，運用面での制約等を加味した検討が必要である。

ただし，施設場所，メンテナンス，ランニングコスト，制御・保護装置との協調を考慮する必要性は水車と共通であり，また，水車との連結方法については，直結とするかギヤ又はベルト駆動により増減速するかにより，発電機を選定する必要がある。

４．２．１　発電機の種類

簡易発電システムへ適用可能な発電機は，同期発電機，誘導発電機，永久磁石発電機および直流発電機の４つである。

【解説】

ここでは，各発電機の仕様概要を説明する。この中で，永久磁石発電機および直流発電機には「逆変換装置」が必要である。逆変換装置は，インバータ（INV）又はコンバータ（CONV）から構成される装置であって，保護装置を含めたユニットは，パワーコンディショナとも呼ばれている。

(1) 同期発電機

同期発電機は機械動力を受けて交流電力を発生し，定常運転状態において，その回転速度がギャップの回転磁界と同期するもの(これを同期速度という)で，磁気回路，電気回路および機械的部分から構成される。磁気回路は強磁性体で作られた電機子鉄心と界磁鉄心等からなり，電気回路は電機子巻線，界磁巻線，励磁装置等からなる。機械的部分は固定子枠・回転子軸・軸受等から構成される。

(2) 誘導発電機

誘導発電機は互いに独立している二つの巻線があり，機械動力を受けて交流電力を発生し，一つの巻線からもう一つの巻線に電磁誘導作用によりエネルギーを伝達して回転するもので，定常状態において同期速度と異なる速度で回転する。ここで，固定子側の巻線を一次巻線，回転子側の巻線を二次巻線という。

(3) 永久磁石発電機

永久磁石発電機は回転子に永久磁石を使用するもので，機械動力を受けて交流電力を発生し，発電機本体の特性は同期発電機と類似している。回転子へ永久磁石を適用する方法によって表面磁石形と埋込磁石形がある。

永久磁石発電機は励磁装置を有さないことから，負荷又は電力系統に接続する際は，逆変換装置による電圧・周波数制御が必要である。

(4) 直流発電機

直流発電機は機械動力を受けて，直流電力を発生するものを言い，電機子の回転に伴って導体がＮ極とＳ極の下を通過するときに，導体内に発生する起電力の方向は互いに反転して交番起電力となるので，これを整流子とブラシの整流作用によって直流としている。電力系統に接続する際は，直流を交流に変換する逆変換装置を必要とする。

４．２．２　発電機の選定

発電機の選定で重要な要素は運転条件であり，系統連系しない場合（自立運転）と系統連系する場合（系統連系運転）の二つに区分される。

この運転条件によっては，選定不可な発電機もあるので，発電機の選定にあたっては経済性だけでなく，運用面での制約を加味する必要がある。

【解説】

自立運転とは発電設備が電力系統に連系しない場合，又は電力系統から切り離された単独系統に電力を供給するもので，単独で需要家に電力を供給する形態である。一方，系統連系運転とは発電設備が低圧又は高圧配電線等の電力系統と接続された状態において，発電設備と電力系統の両者から需要家に電力を供給する形態である。どちらの形態かによって，選定できる発電機が決まる。

表 4−3 は，発電機別に簡易発電システムへの適用性を示したものである。

表 4−3　簡易発電システムへの発電機別適用性

発電機	運転条件		保守性	
	自立運転 可否	系統連系運転 可否	励磁装置 要否	ﾌﾞﾗｼ・整流子 要否
同期発電機	可	可	要	否
誘導発電機	不可	可	否	否
永久磁石発電機	可	可	否	否
直流発電機	可	可	否	要

同期発電機は自立運転・系統連系運転ともに可能であり，また，整流子とブラシの保守が不要であるが，励磁装置が必要であることから系統連系する場合は，誘導発電機に比べ

て，簡易発電システムへの適用性は低いものと考えられる。

誘導発電機は，自立運転は不可能であるが系統連系運転は可能であり，また，励磁装置が不要で整流子とブラシの保守も不要であり，簡易発電システムへの適用性は高いものと考えられる。

永久磁石発電機は，自立運転・系統連系運転ともに可能であり，また，励磁装置が不要で整流子とブラシの保守も不要であることから，簡易発電システムへの適用性は高いものと考えられる。

直流発電機は，自立運転・系統連系運転ともに可能であり，励磁装置が不要であるが，整流子とブラシの保守が必要であり，また，オルタネータを適用した極小出力なものを除けば実績がないため，簡易発電システムへの適用性は低いものと考えられる。

以上の運転条件，保守性を考慮すると，出力 500kW 程度以下を想定している簡易発電システムに適用が期待される発電機は，誘導発電機および永久磁石発電機である。ただし，永久磁石発電機の場合は逆変換装置により電圧・周波数を制御する必要があることから，経済性に関しては逆変換装置に掛るコストを含めた簡易発電システム全体で評価する必要がある。

表 4－4 は，発電機を選定するにあたり，必要となる各発電機毎の技術的特徴を表形式で整理したものである。構造，運転条件，力率，系統並列，高調波負荷，事故時対応に区分して，各発電機毎にその特徴を記述した。この中には記載ないが，一般に発電機電圧は発電機製作上の経済性や接続される遮断器及び断路器等の開閉装置を考慮して決定されるが，出力 500kW 程度以下を想定している簡易発電システムでは，出力 300kW 未満で 220V 又は 440V，出力 300kW 以上で 6.6kV の区分が適切である。

表 4－4　同期発電機・誘導発電機・永久磁石発電機・直流発電機の技術的特徴（1/2）

	構　造	運転条件	力　率	系統並列	高調波負荷	事故時対応	
						系統短絡事故時	無拘束速度時
同期発電機	・ 励磁機，回転整流器が必要である。 ・ ﾌﾞﾗｼﾚｽ励磁であるため保守が容易である。	・ 自立運転，系統連系運転共に可能である。	・ 自立運転時は，負荷の力率により定まるが，一般的には，負荷力率は 80～90%の遅れである。 ・ 系統連系時は，励磁電流の調整により無効電力を調整することが可能である。	・ 自動同期装置により電圧位相等を合わせて並列する。 ・ 並列時の電気的，機械的ｼｮｯｸは殆どない。	・ 制動巻線なしの場合は磁極表面で，制動巻線付の場合は制動巻線の熱容量で許容出力が制限される。	・ 過渡電流が流れる。 ・ 励磁方式により，発電機に励磁電流の供給が可能な場合には，過渡電流発生後に持続短絡電流が流れる場合がある。 ・ 短絡方向継電器（DSR）により保護する必要がある。	・ 発電機が無拘束速度連続運転仕様でない場合には，無拘束速度による運転を長時間継続しないよう過速度継電器（12）等で保護し，発電機を停止させる（→調速装置要）。 ・ 発電機が無拘束速度連続運転仕様である場合には，人為的にｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝ，入口弁又は取水口ｹﾞｰﾄなどの閉鎖により発電機を停止させる。また，発電機運転中に並列用遮断器がOFFされた場合は，界磁遮断器も自動的にOFFする必要がある。
誘導発電機	・ 励磁装置が不要である。 ・ 回転子が，かご形構造の場合，堅牢で高速化が容易である。 ・ 回転子が，巻線形構造の場合，ﾌﾞﾗｼの保守が必要となる。	・ 励磁電流を系統から供給する必要があり，一般には自立運転は不可能である。ただし，小容量機（出力 25kW 程度以下）では，ｺﾝﾃﾞﾝｻ励磁方式等の採用により自立運転するｹｰｽがある。	・ 「すべり」の絶対値が大きくなるほど出力は増加する。 ・ 出力増加に伴い，無効電力も増加するが，力率の調整ができないため，力率調整（改善）するためには，補償用ｺﾝﾃﾞﾝｻの設置が必要となる。	・ 並列時には，「すべり」と無関係に約 5～6 倍の突入電流が流れるため，電圧降下が大きい場合には，限流ﾘｱｸﾄﾙを設置する必要がある。 ・ 並列時の「すべり」による突入電流の大きさは変らないが（一般に突入電流は拘束電流相当が流れ，「すべり」と無関係），電圧に影響する時間を短くするため，同期速度近傍で並列するのが望ましい。	・ 回転子ﾊﾞｰの熱容量が大きく，高調波負荷に対して比較的強い。	・ 過渡電流が流れる。 ・ 過渡電流発生後には，発電機に励磁電流を供給することができなくなるため，持続短絡電流は流れない。 ・ 不足電圧継電器（UVR）により保護する必要がある。	・ 発電機が無拘束速度連続運転仕様でない場合には，無拘束速度による運転を長時間継続しないよう過速度継電器（12）等で保護し，発電機を停止させる（→調速装置要）。 ・ 発電機が無拘束速度連続運転仕様である場合には，人為的にｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝ，入口弁又は取水口ｹﾞｰﾄなどの閉鎖により発電機を停止させる。また，発電機運転中に並列用遮断器がOFFされた場合は，界磁遮断器も自動的にOFFする必要がある。

表 4－4　同期発電機・誘導発電機・永久磁石発電機・直流発電機の技術的特徴（2/2）

	構　造	運転条件	力　率	系統並列	高調波負荷	事故時対応	
						系統短絡事故時	無拘束速度時
永久磁石発電機	・ 小型，軽量，高効率である。 ・ 回転子に永久磁石を使用しており，表面磁石形埋込磁石形がある。	・ 自立運転，系統連系運転共に可能である。ただし，電圧・周波数が回転速度に依存し，制御できないため，ｲﾝﾊﾞｰﾀを設け，負荷に接続する必要がある。	・ 発電機本体は励磁電流を供給しないため，誘導機より力率が良い。 ・ 負荷側から見た力率は，ｲﾝﾊﾞｰﾀにより決定される（力率制御が可能）。	・ 逆変換装置により電圧位相等を合わせて並列する。 ・ 並列時の電気的，機械的ｼｮｯｸは殆どない。	・ 磁極表面で許容出力が制限される。 ・ 実用では逆変換装置の容量選定時に高調波分を考慮する必要がある。	・ 過渡電流が流れる。 ・ 過渡電流発生後，発電機に励磁電流を供給することが可能であるため，持続短絡電流が流れる。 ・ 短絡方向継電器（DSR）により保護する必要がある。また，一般的に逆変換装置は，付加される保護機能により定格の約3倍の電流で瞬時遮断される。 ・ 過渡電流は，逆変換装置の負荷側に設置される交流ﾘｱｸﾄﾙで制限される。	・ 無拘束速度時には，発電機の回転速度にほぼ比例して発電機電圧も上昇する。これによる過電圧から逆変換装置を保護するために，過電圧継電器（OVR）および発電機と逆変換装置間を切り離すための遮断器を設置する必要がある。
直流発電機	・ 整流子とﾌﾞﾗｼの保守が必要である。	・ 自立運転，系統連系運転共に可能である。ただし，電圧が回転速度に依存して制御できないため，ｲﾝﾊﾞｰﾀを設け，負荷に接続する必要がある。	・ 発電機本体は励磁電流を供給しないため，誘導機より力率が良い。 ・ 負荷側から見た力率は，ｲﾝﾊﾞｰﾀにより決定される（力率制御が可能）。	・ 逆変換装置により電圧位相等を合わせて並列する。 ・ 並列時の電気的，機械的ｼｮｯｸは殆どない。	・ 実用では逆変換装置の容量選定時に高調波分を考慮する必要がある。	・ 発電機の電機子抵抗で決まる短絡電流が流れ，ﾌﾗｯｼｭｵｰﾊﾞを発生する危険がある。 ・ 発電機は，直流ﾘｱｸﾄﾙで短絡電流を制限し，直流遮断器で保護する必要がある。また，一般的に逆変換装置は，付加される保護機能により定格の約3倍の電流で瞬時遮断される。	・ 無拘束速度時には，発電機の回転速度にほぼ比例して発電機電圧も上昇する。これによる過電圧から逆変換装置を保護するために，過電圧継電器（OVR）および発電機と逆変換装置間を切り離すための遮断器を設置する必要がある。

４．２．３　発電機種類別システム構成比較

発電機を選定するにあたり，経済性については回路構成を考慮したシステム全体で評価する必要がある。この結果から，運転条件を加味して発電機を選定する。

【解説】

簡易発電システムへの適用が望ましいのは，運転条件，保守性を考慮し，誘導発電機・永久磁石発電機と考えられる。ただし，永久磁石発電機は逆変換装置により電圧，周波数を制御する必要があることから，経済性に関しては発電機単体ではなく，逆変換装置を含めたシステムとして比較評価が必要である。

ここでは，同期発電機，誘導発電機，永久磁石発電機，直流発電機の各発電機種類別にシステム構成を比較し，経済性を含めた技術的評価および課題等について整理することで簡易発電システムへの適用性を検討した。

(1) 発電機種類別システム構成

発電機システムは，発電機条件（300kVA-440V-6P，1,000min^{-1}）をもとに，以下に示す４構成とし，汎用性，経済性，実現性，信頼性，保守性のほか，技術的課題，性能（効率）等について比較検討することにした。

①システム構成１：同期発電機
②システム構成２：誘導発電機（ソフトスタート回路）
③システム構成３：永久磁石発電機（一次側インバータ方式）
④システム構成４：直流発電機（一次側インバータ方式）

(2) 比較結果および評価

表 4−5 に発電機種類別システム構成比較結果を示す。いずれも汎用性，信頼性の面では共通であるが，経済性の面からは励磁装置を必要とする同期発電機は他に比べて劣る傾向にある。永久磁石発電機，直流発電機は逆変換装置を必要とするが，出力 500kW 程度以下を想定している簡易発電システムの場合は，汎用インバータの適用が可能であり，一般産業においてその普及も進んでおり，低価格化の傾向にあることから，システム全体としては同期発電機に対して，機器簡素化と相俟って経済性が良好との結果を得た。

機器簡素化の観点から，調速装置の省略可否があるが，同期発電機に関しては定速運転させるために省略不可であるが，その他の発電機種別においては，水車形式により必要可否が異なるため，比較項目から対象外とした。

表 4－5　発電機種類別システム構成比較表（1/2）

比較項目＼簡易発電システム		誘導発電機システム	同期発電機システム	永久磁石発電機システム	直流発電機システム
汎用性		・比較的多くの水力発電所において，適用実績がある。 ・自立運転には不適である。	・多くの水力発電所において，適用実績があるが，その殆どは汎用品ではなく，個別設計品対応である。 ・自立運転には適している。	・水力発電所への適用が増えている。 ・励磁装置は不要である。 ・自立運転には適している。 ・他システムに比べて汎用性が高い。	・自立運転には適している。
経済性		◎	△	◎	○
	励磁装置	不要	必要	不要	不要
	逆変換装置	不要	不要	必要	必要
	励磁用変圧器	不要	必要	不要	不要
	その他	誘導発電機の種類が，かご形である。	発電機として機器簡素化要素がない。	発電機は同出力および同回転速度で比較して同期発電機より安価である。	発電機は同出力および同回転速度で比較して同期発電機より安価である。
新技術の適用性		△ 新技術の適用は殆どない。	△ 新技術の適用は殆どない。	○ 水力発電所へ永久磁石発電機システムを適用する。	○ 主回路に逆変換装置を適用する。
実現性		◎ 多くの水力発電所で適用実績がある。	◎ 多くの水力発電所で適用実績がある。	◎ 風力発電設備での適用実績が多い。また，開発事例調査（モニタリング調査）にもあるように，最近，水力発電設備への適用が増えており，今後の普及が期待されている。	△ 水力発電所向けには適用実績は殆どない（マイクロ水力発電設備に適用がある）。
信頼性		◎ 多くの水力発電所で適用実績がある。	◎ 多くの水力発電所で適用実績がある。	○ 風力発電設備での適用実績が多い。また，開発事例調査（モニタリング調査）にもあるように，最近，水力発電設備への適用が増えているが，運転実績が短期間であることから，継続的な運転状況を確認する必要がある。	△ 水力発電所向けには適用実績は殆どない。直流電源用としての適用実績はある。
課題		・系統並列時に流れる突入電流の抑制 ・単独負荷への対応	・システムを構成する装置の低価格化	・高調波対策 ・単独負荷供給時の電圧変動対策 ・回転速度上昇時の過電圧保護対策 ・無拘束速度対策	・高調波対策 ・単独負荷供給時の電圧変動対策 ・回転速度上昇時の過電圧保護対策 ・無拘束速度対策
保守性		◎ かご形であり，保守は容易である。	△ ブラシ保守が必要，なお，ブラシレスを適用すればブラシ保守は不要である。	◎ 界磁巻線，ブラシがないため保守は容易である。	△ ブラシ保守が必要である。

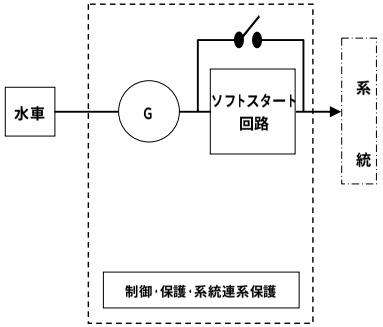
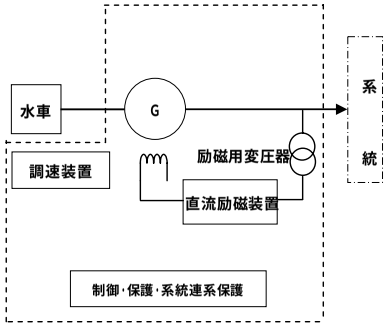
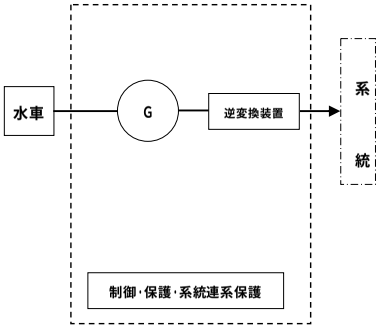
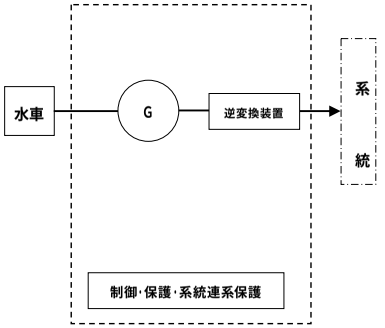
［凡例］

◎　○　△　×

高い　←→　低い

経済性、適用性、実現性、
信頼性、保守性、発電機効率
総合評価

表 4－5　発電機種類別システム構成比較表（2/2）

比較項目＼簡易発電システム	誘導発電機システム	同期発電機システム	永久磁石発電機システム	直流発電機システム
製造限界	小出力機から大出力機まで幅広いラインナップがある。	小出力機から大出力機まで幅広いラインナップがある。	逆変換装置の経済性から，出力 500kW 程度が限界である。	出力 1,500kW 程度が限界である。
発電機システムの機器構成	 発電機仕様： 300kVA-440V-6P，1,000min^{-1}	 発電機仕様： 300kVA-440V-6P，1,000min^{-1}	 発電機仕様： 300kVA-440V-6P，1,000min^{-1}	 発電機仕様： 300kVA-440V-6P，1,000min^{-1}
発電機システム価格比〔同期発電機システムを１とする〕	0.95	1.00	0.93	0.95
発電機効率比較				
発電機出力		力率 1.0	(　)内は逆変換装置を含む総合効率	(　)内は逆変換装置を含む総合効率
100%	92.5　(力率 84.5)	93.0	96.5　(91.5)	92.0　(87.0)
75%	92.0　(力率 81.5)	92.0	96.0　(89.0)	91.0　(84.0)
50%	91.0　(力率 74.5)	89.5	95.0　(85.0)	89.0　(79.0)
評価	○	○	○	△
総合評価	◎ 経済性は有利であるが，自立運転は不適	○ 経済性は不利であるが，自立運転には適	◎ 経済性は有利であり，自立運転にも適	△ 保守性は不利であるが，自立運転には適

[凡例]

◎　○　△　×

高い　←→　低い

経済性、適用性、実現性、
信頼性、保守性、発電機効率
総合評価

表 4−5 の総合評価では,誘導発電機又は永久磁石発電機システムが簡易発電システムへの適用にあたって望ましい結果を得た。ただし，誘導発電機システムは多くの水力発電所で適用実績があり，実用性・信頼性・保守性とも高いが，永久磁石発電機システムは未だ適用実績が少なく，継続的な運転状況の確認が求められる。また，高調波抑制対策，単独負荷供給時の電圧変動対策，回転速度上昇時（無拘束速度時）の過電圧保護対策等を検討する必要がある。

４．２．４　永久磁石発電機システムの導入について

簡易発電システムへの適用性が高い永久磁石発電機システムについて，導入するにあたっての技術的課題を抽出し，対策を講じる必要がある。
また，適用実績が少ない発電システムであり，その運転制御方法を確認し，適用可否を判断する。

【解説】

永久磁石発電機システムは，発電状況に応じた高効率運転が可能で，系統連系にあたって安定した電圧・周波数に変換でき，自立運転も可能で汎用性が高く，他のシステムに比べて経済性も高いことから，簡易発電システムへの適用性が高い。しかし，逆変換装置の高調波抑制および過電圧保護対策，水車無拘束速度対策等が課題としてあり，これらに対してどのような対策が講じられているか，又は講じる必要があるか検討する必要がある。

また，永久磁石発電機システムは，最近の技術であり適用実績も少ないことから，その運転制御方法を確認する必要がある。ここでは，永久磁石発電機システムを導入するにあたり，これら技術的課題の抽出と対策について，適用実績の多い風力発電を含めた事例等から調査・検討した結果を説明する。

(1) 永久磁石発電機システムの課題

表 4−6 は風力発電システムとの相違点を過速度対策,速度上昇時における逆変換装置の過電圧対策を比較したものである。永久磁石発電機システムは，風力発電の分野で適用実績が多いが，この比較から風力発電では問題となる要素がなく，風力発電での仕様をそのまま簡易発電システムへ適用するには対策を講じる必要がある。

表 4－6　風力発電システムとの相違点

比較項目	風力発電システム	永久磁石発電機システム
過速度対策	インペラに風があたらないようピッチ制御することで速度上昇を回避	負荷遮断時は速度上昇が発生するため，下記の対策が必要 1．水車にガイドベーンを設ける 2．上流側又は下流側に入口弁，ゲート等の止水設備を設ける 3．水車と発電機の伝達機構を切り離す機構を設ける（例えば過速度時に連結ベルトが自動的に外れる機構）
速度上昇時における過電圧対策	速度上昇が殆どないため必要なし	負荷遮断等で発電機の回転速度が上昇する場合は，過電圧も発生するため，上記過速度対策のほか，発電機および逆変換装置に対して以下の対策が必要 1．発電機定格電圧が 200V の場合に，連続仕様で約 2 倍の 400V 耐圧の固定子コイルを有する発電機仕様とする 2．電磁接触器等により，発電機を逆変換装置から切り離す 3．逆変換装置素子の耐圧は通常の 2 倍程度の仕様とする 4．系統連系しない場合における負荷の選定として，電圧変動しても支障ない負荷とする

永久磁石発電機の無拘束速度時における制限事項については，メーカー調査の結果から下記に示す項目を確認している。ここで，主回路および逆変換装置については，無拘束速度時に発電機から切り離す（開閉器開放）ことにより保護できるが，発電機は回転速度に比例して上昇する電圧，機械的強度に耐えなければならない。

発電機，逆変換装置の制限事項

□許容最大回転速度は，最大回転速度の 125%，1 分間

□絶縁は最高 AC600V（定格：AC190V 又は AC380V）

□逆変換装置素子は最高 AC500V

a 永久磁石発電機の過速度対策

メーカー調査による制約事項で，過速度に対しては JEC-2100（1993）『回転電気機械一般』にもとづき，「最大定格回転速度の 120%」を満足しているが，簡易発電システムでは無拘束速度が 180～220%に至る可能性もあるため，永久磁石発電機を適用する場合は，これを克服する対策を講じなければならない。

このため，無拘束速度 200%を想定し，永久磁石発電機およびパワーコンディショナ盤を選定するにあたっての方法を以下の通り検討した。これは，永久磁石発電機の標準仕様において，出力一定速度範囲が 1,200min^{-1}～1,600min^{-1}であることから，JEC にもとづき最大定格回転速度 120%の 1,920min^{-1}まで無拘束速度が許容できるとし，

その半分の回転速度である 960min^{-1}を定格回転速度に設定すれば，無拘束速度 200%と同等の仕様になると考えたものである（過速度側に余裕を持たせる考え方）。

ただし，本来の定格回転速度以下での運転は，①発電機効率等の性能低下，②目標とする出力が得られない等の問題点がある。図 4－3 は永久磁石発電機システムの総合効率を示したものである。これを見ると，960min^{-1}～1,200min^{-1}の範囲において，著しい効率低下は見られない。また，出力は定格回転速度を低く押さえる分だけ目標とする出力が得られないことから，図 4－3 内の回転速度に対する軸入力の関係から，1.82（軸入力 100%→55%に低下するため，0.55^{-1}）を乗じた定格を有する発電機を選定する。

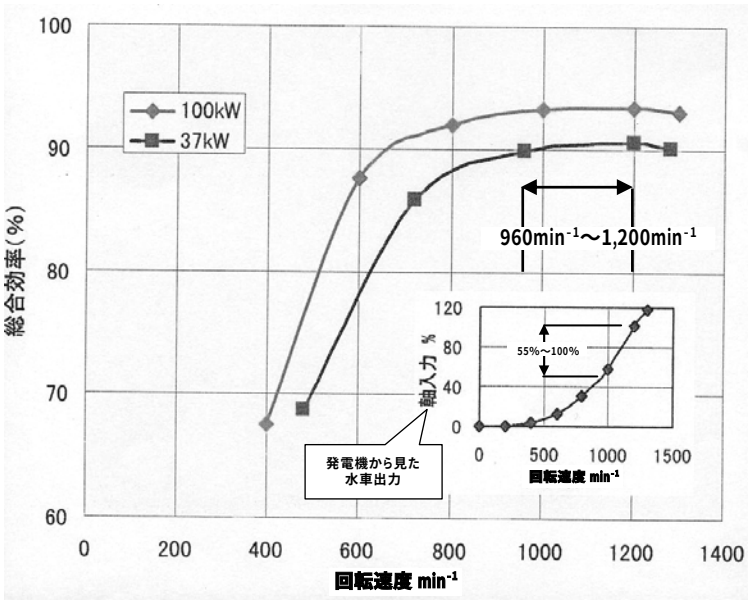


図 4－3　永久磁石発電機システム総合効率

この考え方は，巻末資料－５に示すモニタリング調査（開発事例調査）で，富山県南砺市（利賀行政センター）が，平成 17 年 11 月から運転を開始した出力 9.9kW の永久磁石発電機システムで検証することができる。この地点は，流量調整機構がなく入口弁を有するが，負荷遮断時は入口弁が閉止されるまで過渡的に無拘束速度に至る。

この南砺市利賀ミニ水力発電所の基本諸元を表 4－7 に示す。

表 4－7　南砺市利賀ミニ水力発電所諸元

項目	単位	諸元
有効落差	m	8
最大使用水量	m^3/s	0.177
最大出力	kW	9.9
系統連系，潮流	-	自立運転
水車形式	-	ポンプ逆転水車
水車出力	kW	11.1
回転速度	min^{-1}	800
発電機システム構成	-	永久磁石発電機+逆変換装置
発電機出力	kW	18.5
発電機電圧	V	190（60Hz）
回転速度	min^{-1}	800
制御･保護装置	-	パワーコンディショナ盤

①発電所出力の設定

Pp＝11.1kW（水車出力）×0.867（10kW 級永久磁石発電機システム設定効率）→9.9kW

②無拘束速度 200%を考慮した発電機出力の選定

Pg＝9.9kW（発電所出力）×1.82＝18.02kW

ここで，1.82 は過速度に対する発電機定格補正係数である。

発電機の製品ラインナップは 11kW，18.5kW，22kW，37kW･･･より 18.5kW を選択

南砺市利賀ミニ水力発電所で無拘束速度を考慮しなければ，製品ラインナップから出力 11kW の発電機が選定できる。負荷遮断時に入口弁が閉止されるまで過渡的に無拘束速度に至ることを考慮し，発電機定格補正係数 1.82 を乗じた 18.5kW が選択されている。

写真 4－1 に南砺市利賀ミニ水力発電所の水車・発電機，入口弁の機器外観を示す。

写真 4－1　南砺市利賀ミニ水力発電所

巻末資料－５に示すモニタリング調査（開発事例調査）で，同じく永久磁石発電機システムを導入した都留市民発電所（山梨県都留市）を比較すると，この地点は発電所出力 Pp＝20kW に対し，永久磁石発電機出力は Pg＝22kW が選択されている。

このため，発電機出力に 1.1 倍の余裕しかないが，この地点は水車ゲートと取水ゲートが閉止するまでの過渡的な間の回転速度上昇を抑制するための対策として，ダミーロード回路（制動回路）を設け，負荷遮断時には発電機出力を抵抗体による回生制動により消費する工夫がなされている。

写真 4－2 に都留市民発電所の水車，発電機外観を示す。

写真 4－2　都留市民発電所

発電機無拘束速度を回避するための工夫として，水車との伝達機構を切り離す機構（ベルト外し，ギアクラッチ等）を設ける方法も考えられるが，その構造が複雑で，コストアップにも繋がることから，実用化されている事例はない。

また，200％無拘束速度時の発電機電圧は，190V×2＝380V＜600V（絶縁耐力は1,500V）であり問題ないが，定格電圧 380V を採用する場合は，600V/380V＝1.6 であり，無拘束速度をこれ以下に押さえる必要がある。

b 逆変換装置の課題，対策

逆変換装置に関する課題を表 4－8 に整理する（表中ではインバータを INV，コンバータを CONV と表記）。逆変換装置は GTO（Gate Turn Off Thyristor），IGBT（Insulated Gate Bipolar Transisitor）等の半導体素子のスイッチング動作により，直流を交流に変換する装置である。このため，このスイッチング動作に起因する高調波抑制対策，発電機の一次側に逆変換装置を設置することによる回転速度上昇時における逆変換装置素子の過電圧保護対策を講じる必要がある。

表 4－8　逆変換装置の課題，対策について

課題	対　　策	補　　足
高調波対策	パルス幅制御形（PWM）INV の採用 小中容量 INV に適用される方式で，一般に IGBT が使用される。CONV 部は周波数制御と電圧制御をパルス幅変調（PWM）して行う。INV 部は PWM 制御により，電流を正弦波化して高調波を抑制すると同時に高力率（ほぼ 1）制御を行う。 なお，IGBT を使用した INV は，スイッチング周波数が高くできるので，特別な高周波抑制フィルタは不要である。	電流制御形 INV と比較すると，効率は若干落ちるものの，高調波は殆どない。
単独負荷供給時の電圧変動対策	余剰エネルギーをダミーロードで放熱し，発電機回転速度を一定に保つように制御する。	－
回転速度上昇時の過電圧保護対策	定格電圧の 2 倍以上の耐圧素子を適用する。又は，電磁接触器により発電機を INV から切り離す。	－

(2) 永久磁石発電機システムの運転制御事例

図 4－4 に永久磁石発電機システムの回路構成を示す。主要な設備は水車，永久磁石発電機，逆変換装置ユニットの簡易な構成であり，逆変換装置ユニットは自立運転の場合は負荷設備，系統連系の場合は配電線に接続される。

逆変換装置ユニットであるパワーコンディショナは，発電機保護のほか系統連系に必要な系統保護，単独運転検出装置が内蔵されている。また，発電機用インバータには外部入力として，必要に応じてトルク指令又は速度指令を入力することにより，落差・流量に応じた高効率運転を可能としている。連系用インバータは自立運転，系統連系に応じて電圧

制御，電流制御の切替が可能な仕様である。

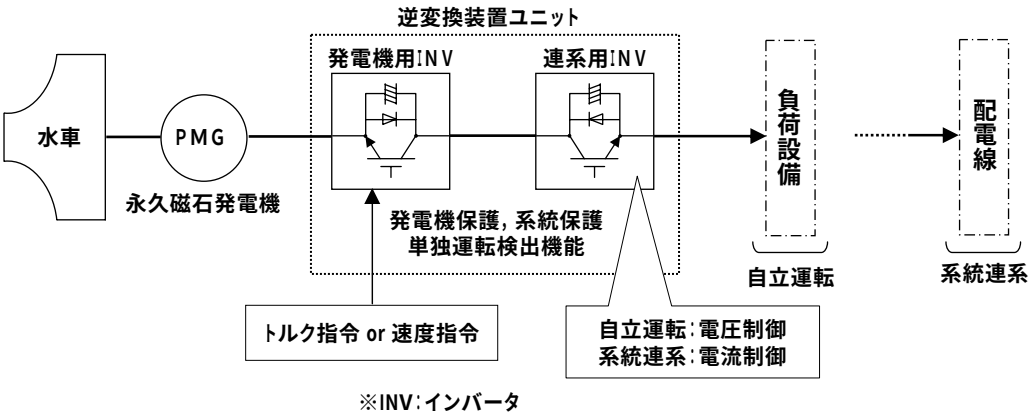


図 4－4　永久磁石発電機システム回路構成

永久磁石発電システムは，風力発電設備での適用実績が多く，水力では適用実績が少ない発電システムであり，その運転制御方法を確認する必要がある。

風力発電で永久磁石発電機システムを適用するのは，定格風速を超える高風速時（突風時）には，風車の回転速度を上げることで脈動する風のエネルギーを吸収し（軸の回転エネルギーとして蓄積),逆に低風速時には回転エネルギーを放出することで発電機出力を補い，脈動の少ない安定した電力が供給できることを目的としている。

ただし，水力発電では水理諸元である落差や流量が短時間で大きく変動することは考えられないことから，基本的にその運転制御方法は相違する。

簡易発電システムに永久磁石発電機システムを適用するにあたり，自立運転と系統連系のケースについて，その運転制御方法を巻末資料－９で具体的に確認した。

４．３　制御・保護装置

制御・保護装置は，適用施設や地点特性，発電所出力に負う要素が少なく，基本的に仕様を満足できる汎用品を組み合せることによるコストダウンの実現性が高い。
また，制御・保護装置は一般産業分野での技術開発も目覚しいものがあり，この分野からの適用を図る。

【解説】

制御・保護装置は，水車形式，発電機の種類との協調を図る必要があり，また，運転条件（自立運転・系統連系，低圧・高圧連系，逆潮流有無，応水・水調運転）によって必要となる制御・保護要素が決まる。保護要素は関係法令で定められたものを最低限施設する必要もあり，コストダウンの観点から信頼性低減に繋げてはならない。

なお，小出力機器では主回路機能を含めた水車，発電機がセットになったパッケージ製品があり，特別な制御シーケンス等の追加削除がなければ，標準品をそのまま適用することが可能であり，コストダウンに大きく貢献する。

制御・保護装置のメンテナンスやランニングコストは水車，発電機と同様に保守性および経済性を考慮する必要がある。特に，制御・保護装置はデジタル化が進み，その技術開発も日々進んでいるため，新製品の開発により適用した装置の製造中止に伴う補修部品の調達等を充分考慮して機器を選定する。

４．３．１　制御・保護装置の基本仕様等

制御・保護装置は信頼性の観点から，一体形監視制御装置が一般的であるが，機器の合理化によるコストダウンの観点から，簡易発電システムの制御・保護装置には汎用的な一般産業用 PLC を適用する。
また，系統連系する場合は，単独運転検出装置が必要となる場合があり，受動方式と能動方式の中から適した製品を選定する。

【解説】

ここでは，一般産業用 PLC と電力用仕様の比較，一般産業用を適用するにあたっての考え方，製品化されている簡易制御・保護装置の基本仕様，系統連系にあたって必要となる単独運転検出装置の基本仕様について説明する。

(1) 一般産業用 PLC の基本仕様とその適用

一般産業用 PLC（Programmable Logic Controller）は，電力用仕様と比較して外観および性能とも大きな差異はない。表 4－9 に一般産業用コントローラと電力用コントローラの比較仕様一覧を示す。一般産業用は JIS B 3502 に準拠しているのに対して，電力用は電気協同研究（第 57 巻第 5 号）にもとづいている。

表 4－9　一般産業用コントローラと電力用コントローラとの比較（1/2）

	項　目	一般産業用コントローラ仕様	電力用コントローラ仕様	説　明
1	準拠規格類	JIS B 3502（注 1）に準拠したものが製品化されている 以前は JEIDA-29（注 2）などの指針によっているが，製品により異なる	電協研水力仕様（注 3）に準拠	プログラマブルコントローラ単体の規格はない 電協研水力仕様は一般産業用コントローラ単体では満足できないが，合理化策では一般産業用の適用を前提としている
2	制御電源電圧変動範囲	JIS B 3502 では， 直流：定格電圧の-15%～+20% 交流：定格電圧の-15%～+10% 定格電圧は AC110V，AC220V および DC24V の製品が多く，DC110V も製品化されている	直流：90V～140V 以内 交流：95V～125V 以内	コントローラ単体の定格電圧は，DC110V に限定せず，無停電電源装置が設置されている場合は，交流定格のコントローラも適用可能である 電協研水力仕様では合理化できないとして，仕様を満足できる補助装置の設置が必要である
3	周囲温度	JIS B 3502 では，コントローラ単体（開放型装置）の直下で+5℃～55℃	装置(盤)の周囲温度 0℃～40℃ ただし，-10℃～+50℃を 1 日に数時間程度許容し，結露・氷結しない状態	電協研水力仕様の合理化策では，結露・氷結しない状態のみを適用
4	相対湿度	JIS B 3502 では，次のいずれか一つを選択 レベル RH-1：50%～90% レベル RH-2： 5%～95%	日平均で 30%～80%	JIS B 3502 のレベル RH-1 では，静電放電ノイズレベルが低い値となるが，装置(盤)に収納した状態では電協研水力仕様を満足できると判断する
5	冷却方式	現状でも多くの製品が自然冷却	自然冷却を標準	差異はない
6	裏面配線の太さ	入出力ユニットの端子には，1.25mm² までの太さの配線が接続可能であるが，2.0mm² の配線は圧着端子の種類によっては接続できない場合がある	一般配線の太さは 2.0mm² を基本とするが，入出力ユニットに直接接続される配線の太さは，ユーザーとメーカー間で仕様を決定	電協研水力仕様の合理化策では，サイズ統一を図った方が経済的とし，合理化する必要はないとしている
7	端子台	入出力ユニットの端子には，1.25mm² までの太さの配線が接続可能であるが，2.0mm² の配線は圧着端子の種類によっては接続できない場合がある	5.5mm² を基本とするが，これにより難い場合は，ユーザーとメーカー間で仕様を決定	電協研水力仕様の合理化策では，サイズ統一を図った方が経済的とし，合理化する必要はないとしている
8	塗装	JIS B 3502 では，色彩についての規定はなく，一般産業用製品では塗装色を個別に指定することはできない	盤内収納器具のフレーム，カバーなどの金属露出部は，5Y7/1 か 7.5BG6/1.5	標準塗装色
9	商用周波耐電圧	JIS B 3502 では，標準絶縁耐力試験の方法は従来と異なるが，従来の交流 1 分間耐電圧試験（2×定格電圧+1,000V）も認められている	装置（盤単位）で， 60V 以下：500V　1 分間 60V 超 600V 以下:2,000V　1 分間 ただし，60V 以下の半導体応用製品や高感度計測器は検査対象外	JIS B 3502 の標準絶縁耐力試験では，3 種類の試験方法から一つを選択することになっており，試験電圧値に標高補正がある
10	耐ノイズ（電波ノイズ）	JIS B 3502 では，放射電磁界 10V/m という電界強度での規定	トランシーバ，移動電話などについて定められた出力と周波数帯域においてアンテナ先端を接近させて試験し，誤出力のないもの	電協研水力仕様の合理化策では，JIS 規格によることとし，単体についての規定は行わないとしている
11	突入電流	JIS B 3502 では規定がないため，製品により 10～20 倍程度	制御電源の開閉に伴い，過渡的に発生する最大電流値は電源定格の 5 倍以下	電協研水力仕様の定格の 5 倍以下を満足するためには，電源装置を別置するなどの対策が必要

表 4－9　一般産業用コントローラと電力用コントローラとの比較（2/2）

	項　目		一般産業用コントローラ仕様	電力用コントローラ仕様	説　明
12	温　度　性　能		JIS B 3502 では，コントローラ単体（開放型装置）の直下で+5℃～55℃	周囲温度-10℃～+50℃において，動作値，動作時間などの許容誤差が常軌使用状態の 2 倍以内にあること	周囲温度に同じであり，電協研水力仕様の合理化策では，一般産業用の適用を考慮して動作保証の規定は行わないとしている
13	入 出 力 電 圧		DC24V が基本 DC110V の製品もあるが，実装密度が 50%程度，電圧変動範囲が±10%程度となる場合がある	DC110V	電協研水力仕様では合理化できないとして，仕様を満足できる補助装置の設置が必要である
14	CPU 演算速度		電力用コントローラと同等	要求仕様，機能を満足できる速度	差異なし
15	メ モ リ 容 量		下位機種では小容量であるが，水力発電所用としては問題にならない	要求仕様，機能を満足できる容量	プログラム容量，データメモリ容量とも問題ない
16	水力発電所機器とのインターフェース		専用インターフェースがなく，装置としての応答性，精度が若干異なる	専用カードによるインターフェース	拡張ユニットで対応
17	信　頼　性		電力用コントローラを超えることはないが，大きな差はない	高い信頼性を実現	エージング方法，スクリーニング対象範囲などに差がある ユニット化されているため部品点数は少ない
18	保　守　性		故障時はユニット単位の交換を行うのみで，製品のモデルチェンジは電力用コントローラに比べて早い	故障時は部品交換だけでなく，原因調査，解析を行う体制がある 長期間の保守対応も行われている	ユニット単位の交換で対応
19	その他	試験成績書	製品個別の試験成績書はない	製品個別の試験成績書がある	標準の試験成績書
		製品の非標準個別対応	製品の非標準個別対応はできない	精密受入試験など製品の非標準個別対応ができる	制御･保護機能共用型，全機能共用型も同様
		価　格	ハード単体の価格は電力用と比べて安価（カタログ販売品）	ソフトを含む装置一式の価格	一般産業用コントローラでは，ハードウェア価格のほかにソフトウェア設計，組立，配線，試験費用などが別途必要
		ソフトウェアの扱い	一般にソフトは別売	販売価格にはソフトが含まれる	盤に組み込み，装置として製作する場合は従来と変わらない
		販 売 数 量	販売数量は多い	―	―
		保 証 期 間	保証期間は 1 年間	契約により異なるが，通常は 2 年間	―

注 1　日本工業規格 JIS B 3502 (1997)「プログラマブルコントローラ装置への要求事項および試験」

注2　電子情報技術産業協会 JEIDA 規格
JEIDA-29 (1990)「工業用計算機設置環境基準」(2000-7 廃止，JEIDA 63 に移行)
JEIDA-63 (2000)「産業用情報処理・制御機器設置環境基準」

注3　電気協同研究　第 57 巻第 5 号(平成 14 年 3 月)「一般水力発電所の制御・保護システム合理化」
電協研水力仕様の定義は「概要」に記載されており，以下に内容を抜粋する。
「従来は水力発電所の制御装置および保護装置の一般仕様についての標準仕様は，電気協同研究　第 48 巻第 3 号（注 4）で記載された，いわゆる「電力仕様」であった。しかし，「電力仕様」という名称は電力用規格 B-402（注 5）と混同されて用いられる恐れがあることに加え，制御･保護装置間で内容に一部違いがあるなど，曖昧な部分があった。本研究では，これらの仕様の見直しを行い，内容の明確化と制御･保護装置間の一般仕様の統一を図っている。このため，従来の標準仕様と区別するために，本書で記載した現状の仕様（合理化検討ベース）を特に「電協研水力仕様」と呼ぶことにした。「電協研水力仕様」は，水力発電所の制御装置および保護装置の一般仕様についての定義とし，高信頼性，高機能性を追及した従来のいわゆる電力向け標準仕様に相当する」

注4　電気協同研究　第 48 巻第 3 号(平成 4 年 11 月)「水力発電所ディジタル機器の標準仕様」

注5　B-402(平成 9 年 10 月改訂)「ディジタル形保護継電器及び保護継電装置」

ここで，一般産業用コントローラが電力用コントローラと異なる点を整理すると，概ね以下の通りである。

○ 電圧変動範囲（制御電源，入出力回路等）が狭い。
○ 配線および端子台サイズが小さい。
○ 商用周波耐電圧値が 1,500V である。
○ 水力発電所機器向けのインターフェイスが少ない。
○ 保守性を向上させるために，故障時はユニット交換を基本としている。
○ 取扱説明書，完成図書類は標準仕様で整備されている。

電圧変動範囲に関しては，補助装置の設置が必要になるが，信頼性の面でも電力用コントローラと遜色は見られず，簡易発電システムへの適用にあたって，大きな懸案事項はないと考えられる。

また，一般産業用コントローラは標準仕様機器であることから，非標準仕様への個別対応は無理としているが，簡易発電システムにおける制御・保護装置では基本的な主機起動・停止と標準保護（単独運転検出装置等は除く）のみで，特殊仕様は考えないことから，一般産業用 PLC を簡易発電システムへ適用するのは可能である。

表 4－9 の一般産業用コントローラと電力用コントローラとの比較仕様一覧を受けて，簡易発電システムへ一般産業用 PLC を適用するにあたっての考え方を，表中説明欄にも記載したが，差異のある部分に関しては電協研水力仕様である電気協同研究（第 57 巻第 5 号）にある下記の合理化策を適用する。

合理化策レベル a: 電協研水力仕様の一部を省略し，装置（盤）としては可能な限り電協研水力仕様を満たしながら，一般産業用を適用する。

合理化策レベル b: 電協研水力仕様の全てを除外して，適用を前提としている一般産業用コントローラ以外にも一般産業用機器を適用する。

次に，一般産業用コントローラを簡易発電システムへ適用するにあたり，運転制御および監視制御面での制約事項，並びにその対応策について，表 4－10 に示すように整理した。

ここで，遠方監視制御に関しては，簡易発電システムが随時巡回に該当することから考慮しないことにした。また，水車，発電機の機器簡素化および合理化策によっては，水車形式並びに発電機種類の選定で，調速制御（水車による省略）又は励磁装置（発電機による省略）も該当しない場合がある。

表 4－10　一般産業用コントローラの制約事項，対応策

	項　目	制約事項	理由	対応策ほか
1	自動制御(起動停止)	該当なし	－	－
2	調速制御	X 級(注 1)の適用は不可	専用の回転速度検出カードがないため,X 級(注 1)の不動帯 0.02%を保証するだけの精度がない	Y 又は Z 級(注 1)の適用
3	励磁制御	最大電圧上昇率(ΔV)は保証可能，ブラシレス励磁では負荷遮断時に波形が乱れる可能性がある	時定数の短い発電機でブラシレス励磁の場合，電圧や界磁電流の検出遅れが大きいと波形が乱れる	負荷遮断時の波形乱れを許容する
4	二次制御	該当なし	－	－
5	自動同期	ビート電圧の演算不可	専用の入力カードがないため，電圧波形を高速にサンプリングできない	ビート電圧変換器(特注品)を外部に設置する
6	遠方監視制御	CDT(注 2)，又は HDLC(注 3)方式に準拠できない	専用のモデムカードがない(注 4)	遠方制御は考慮しない 遠方監視は簡易通報装置等の汎用品で対応可能

注 1　X 級，Y 級，Z 級
電気協同研究第 42 巻第 2 号「水車付属装置の設計指針」で，調速制御に関して定義されている性能の一つである。具体的には以下の通り。
X 級：ガバナフリー運転(調定率一定運転)，AFC(自動周波数制御)運転を行う系統周波数の調整を行う主要発電所に適用される。
Y 級： X 級を使用する発電所に準じて系統周波数調整を協力する発電所に適用される。また，系統単独運転(直配負荷を含む)，或いは試送電を行うが X 級に該当しない発電所に適用される。
Z 級：系統周波数調整を必要としない発電所や誘導発電機の発電所に適用される。
注 2　CDT：Cyclic Digital Transmission：サイクリックデータ転送装置
注 3　HDLC：High Level Data Link Control：ハイレベル[高水準]データ･リンク制御
注 4　最近では CDT，又は HDLC 方式に準拠した製品が開発されている。

(2) 簡易制御・保護装置の基本仕様等

表 4－11 は実績のある簡易制御・保護装置の基本仕様等について，中小水力向け一体形制御・保護装置 5 社，マイクロ水力向け制御・保護装置 2 社をメーカー調査した結果を整理して比較したものである。

CPU 構成や機器性能等は全て標準装備である。また，必要によりオプション扱いで追加仕様が可能な機器もある（準標準品)。従来，一体形制御・配電盤は電気協同研究第 48 巻第 3 号にもとづいた「電力仕様」が基本であったが，前述した電気協同研究第 57 巻第 5 号で一般水力発電所の制御・保護システムの合理化が図られ，表 4－11 にある機器は全てこの合理化策を取り入れた製品となっている。

表 4－11　簡易制御・保護装置の基本仕様（メーカー比較）

製作者	CPU 構成	電源構成	性能								価格（A 社 1）
			操作・表示	自動制御	自動同期	励磁制御	調速制御	二次調整	遠方監視制御	保　護	
A 社	シングル (汎用 PLC)	ｼﾝｸﾞﾙ	ﾀｯﾁﾊﾟﾈﾙ	○	○	○	Y 級 油圧，電動ｻｰﾎﾞ (ｶﾌﾟﾗﾝ水車 高効率運転可)	・水調 ・APFR ・AQR	－ (ｵﾌﾟｼｮﾝでｲｰｻﾈｯﾄ 又は Web によるﾓﾆﾀ機能)	#51,#51H,#27B,#59B #67G,#64B,#95H/L #87,#87G,#51GN,#40 #12,#64N	1.0
B 社	シングル (汎用 PC)	二重化	ﾀｯﾁﾊﾟﾈﾙ	○	○	－	－	・ALR ・水調(ｵﾌﾟｼｮﾝ) ・APFR	－ (電話回線によるﾓﾆﾀ機能)	－	1.7
C 社	シングル (汎用 PC)	ｼﾝｸﾞﾙ	ﾀｯﾁﾊﾟﾈﾙ	○	○	－	－	・水調 ・APFR ・AQR	－	#51V,#59,#27B #95H/L,#64B,#12	0.6
D 社	シングル (一般産業用 PLC)	ｼﾝｸﾞﾙ	ﾀｯﾁﾊﾟﾈﾙ	○	○	○	Y 級 油圧，電動ｻｰﾎﾞ	・水調 ・APFR	・CDT(ｵﾌﾟｼｮﾝ) ・HDLC(ｵﾌﾟｼｮﾝ)	#51,#59,#64G #95H/L,#64,#12	1.3
E 社	シングル (汎用 PC)	ｼﾝｸﾞﾙ	ﾀｯﾁﾊﾟﾈﾙ	○	○	－	－	－	－	#51H,#51,#59,#64G #27,#95H/L,#12	0.5
F 社	汎用 PC	UPS (DC24V)	－ (始動・停止 SW)	○	○	○	ﾀﾞﾐｰﾛｰﾄﾞ	－	－ (ｵﾌﾟｼｮﾝで対応可能)	#51,#59,#64G,#12	0.3
G 社	－	－	－ (始動・停止 SW) (回転速度計)	－	－	○ (発電機付属)	ﾀﾞﾐｰﾛｰﾄﾞ	－	－ (ｵﾌﾟｼｮﾝで電話回線によるﾓﾆﾀ機能)	#59,#27,#95H/L,#12	0.2

※A 社～E 社：中小水力向け一体形制御・保護装置，F 社～G 社：ﾏｲｸﾛ水力向け制御・保護装置

※ﾒｰｶｰ標準品(ｶﾀﾛｸﾞ等資料，聞き取りﾍﾞｰｽ)

※構成，性能は標準装備品(追加仕様はｵﾌﾟｼｮﾝとして記載)

※価格表示は A 社を 1.0 とする（相対表示）

各社個別の仕様により，標準装備品に多少の違いはあるが，中小水力向け一体形制御・保護装置の CPU 構成は汎用 PC，一般産業用又は汎用 PLC を採用しており，合理化策では補助装置の設置が必要とされた電源装置については，シングル化を図ることでコストダウンに努めている。また，操作・表示部はタッチパネルで簡素化し，自動制御および自動同期は各社とも標準装備であり，調速制御も Y 級に対応している製品もある。

マイクロ水力向け制御・保護装置は，さらに簡素化された構成であり，操作・表示部は始動・停止 SW のみ，調速制御もダミーロードの仕様である。

簡易制御・保護装置の基本仕様等において，各社で共通しているのは，汎用品の採用による合理化策であり，機器縮小による省スペース化，操作性および保守性の向上，現地工事および試験期間の短縮，経済性の向上である。

マイクロ水力向け制御・保護装置の価格は，中小水力向け一体形制御・保護装置に比べて 25%前後の低価格であることから，簡易発電システムへの適用にあたっては一層のコストダウンを図ることができる。表 4－12 はマイクロ水力向け制御・保護装置の制御・保護機能を整理したものである。同期発電機，誘導発電機の発電機種類によりその機能は異なるが，簡易発電システムの簡易制御・保護装置として適用が望める。

表 4－12　マイクロ水力向け制御・保護機能一覧

機　能	同期発電機	誘導発電機
CPU 構成	汎用 PC	Ry 制御
制御電源	小容量 UPS 装備(DC24V)	AC100V 電源
操作･表示	始動･停止 SW，運転表示のみ （故障表示なし）	始動･停止 SW，運転表示のみ （故障表示なし）
自動制御	①始動･発電 入口弁を開操作 →昇速→電圧確立→揃速(ﾀﾞﾐｰﾛｰﾄﾞ) →並列→発電出力 ②停止･非常停止 停止･重故障信号→入口弁自動閉鎖 →解列	①始動･発電 入口弁を開操作 →昇速→すべり 3%程度で並列 →発電出力 ②停止･非常停止 停止･重故障信号→入口弁自動閉鎖 →解列
自動同期	あり	なし
励磁制御	あり	なし
調速装置	ﾀﾞﾐｰﾛｰﾄﾞ式周波数調整装置を使用	なし
二次制御	なし	なし
遠方監視制御	なし(ｵﾌﾟｼｮﾝで対応可能)	なし(ｵﾌﾟｼｮﾝで対応可能)
保護	#51,#59,#64G,#12 動力伝達ﾍﾞﾙﾄ破断	#51,#59,#64G,#12 動力伝達ﾍﾞﾙﾄ破断

(3) 単独運転検出装置の基本仕様等

単独運転とは，系統事故時等に発電設備が系統から解列されず，商用電源から分離された部分系統内における運転である。単独運転状態は，一般公衆や点検作業員の感電，非同期連系による機器破損等の安全に対して大きな影響を与える恐れがあるとともに，事故点の被害拡大や事故復旧の遅れ等により供給支障の拡大を招く可能性があることから，確実に防止することが原則とされている。

単独運転を検出する装置は，検出原理から受動方式と能動方式に大別され，それぞれ多

種の方式が実用化されている。受動方式では周波数変化率による検出方式が一般的であるが，この方式のみでは信頼性確保の点から不利であるため，能動方式について製品化しているメーカーを調査した。

表 4－13 は検出方式の異なる 4 方式を調査して比較した結果である。この中の転送遮断装置は，系統遮断器情報を専用通信線や一般公衆回線等で伝送し，発電設備の線路遮断器等を動作させるものであって，系統遮断器情報の出力並びに通信線の確保が必要になることから，簡易発電システムには適さない。

また，無効電力変動方式と QC モード周波数シフト方式は，単独運転検出装置の外付けが否で，同期発電機に限定されており，また，価格も高いことから誘導発電機や永久磁石発電機を主流とする簡易発電システムには適さない。このため，次数間高調波注入方式又は負荷変動方式の方式が検討対象となる。

次数間高調波注入方式は，電力系統に微少量の次数間高調波電流を注入することにより，それに対する電圧や電流を計測し，インピーダンスの変化を監視することで単独運転を検出するものである。注入する高調波は微少量なため，電力系統に影響を与えない特徴を有している。複数台設置による相互干渉がなく，検出時限も 1 秒程度と早いため，高速で確実な検出が期待できる。負荷変動方式は，電力系統に検出用インピーダンス（負荷抵抗）を周期的に短時間挿入し，系統側からの電流変化値と発電機からの電流変化値を用いて単独運転を検出するものである。このため，励磁回路を持たない誘導発電機や負荷変動の激しい発電設備への適用も可能としている。

単独運転検出装置のコストダウンを図る目的で，巻末資料－５に示すモニタリング調査（開発事例調査）の中に，群馬県桐生市（黒保根支所）が平成 16 年 4 月から運転を開始した出力 22kW の利平茶屋水力発電所がある。ここはソーラー用パワーコンディショナ（出力 4kW/台，単独運転検出機能内蔵）を 6 台並列した回路構成で適用している。また，京都市（嵐山保勝会）が平成 17 年 12 月から運転を開始した出力 5.5kW の嵐山保勝会水力発電所でも同メーカーが製品化している単独運転検出装置を適用し，コストダウンに努めている。

系統単独運転検出装置の選定にあたっては，発電機種類，運転条件，保護要素等を考慮し，必要な仕様を満足する標準品から選定することが望ましい。

表 4－13　単独運転検出装置の基本仕様（方式比較）

評価指標＼各方式		次数間高調波注入方式	無効電力変動方式	QCﾓｰﾄﾞ周波数ｼﾌﾄ方式	負荷変動方式	転送遮断装置
発電事業者が着目する指標（汎用性，経済性等）	単独運転検出装置の外付	可	自動電圧調整装置に外乱信号を与える必要あるため否	自動電圧調整装置に外乱信号を与える必要あるため否	可	―
	装置容量	発電機出力に関わらず標準装置で対応可	発電機出力に関わらず標準装置で対応可	発電機出力に関わらず標準装置で対応可	発電機出力増大に伴い装置容量（負荷抵抗）が大きくなる	―
	複数台纏め一括保護	複数台を纏めて1台で保護可	複数台纏めて保護することは困難な場合あり	複数台纏めて保護することは困難な場合あり	複数台を纏めて1台で保護可	複数台を纏めて1台で保護可
	適用できる発電機の種類	発電機の種類によらず使用可	同期発電機のみ使用可	同期発電機のみ使用可	発電機の種類によらず使用可	発電機の種類によらず使用可
	装置の大きさ	(W500*D400*H1,700mm) 自立盤200kg	(W600*D150*H250mm) 他盤へ組込10kg	(W190*D95*H260mm) 他盤へ組込1.6kg	(W550*D250*H800mm) 自立盤(壁掛可) 55kg	(W500*D200*H300mm) 他盤へ組込10kg
	連系保護継電器（標準装備）	#59,#27,#67S,#64V,#95H/L	#27,#95H/L	#59,#27,#95H/L	#59,#27,#95H/L	―
	価　　格（転送遮断装置1.0）	0.4	0.7	0.7	0.3	1.0
電力会社が着目する指標（系統への影響等）	系統への影響	0.1%程度の注入次数成分の電圧歪を発生させる	複数設置の際には電圧変動が大となる可能性あり	系統連系時変動なし	複数設置の際には電圧変動が大となる可能性あり	原理的になし
	複数台設置による相互干渉	注入周波数の高精度分離により影響なし	変動位相の同期により影響なし	特に影響は受けない	負荷挿入周期の同期により影響なし	原理的になし
	検出時限	1秒程度で検出	2秒～10秒程度	数秒程度	1秒～5秒程度	原理的に高速
	保守性	5年に一度，短寿命部品の交換	5年に一度，短寿命部品の交換	5年に一度，短寿命部品の交換	5年に一度，短寿命部品の交換	・毎年通信試験が必要 ・系統切替毎に対処要 （ﾋｭｰﾏﾝｴﾗｰによる誤遮断あり）

※単独運転検出装置（能動式）
※ﾒｰｶｰ標準品(ｶﾀﾛｸﾞ等資料，聞き取りﾍﾞｰｽ)
※価格表示は転送遮断装置を1.0とする（相対表示）

４．３．２　簡易制御，保護装置に関する技術検討

簡易制御･保護装置は，電協研水力仕様（電気協同研究第 57 巻第 5 号）の合理化策を反映した簡易形として標準品が既に製品化されており，その選定にあたっては，水車形式，発電機種類，運転条件，保護要素等との協調を図り，必要な仕様を満足する標準品から選定する。

【解説】

ここでは，簡易発電システムに必要な制御および保護項目を検討する。なお，保護装置に関わる技術基準および系統連系ガイドライン，単独運転検出装置の技術的課題等については，第８章「関係法令・基準等」で具体的に触れる。

(1) 簡易発電システムの制御対象

簡易発電システムで必要な制御項目は，機器省略，簡素化により対象となるものに違いがあること，手動操作であれば自動操作の必要がなく，制御対象とはならない等，水車，発電機の機器仕様により大きな差がある。

表 4−14 に簡易発電システムの制御対象として，基本的な自動制御対象項目とその制御方法について整理した。

表 4−14　簡易発電システムの制御対象

自動制御対象	自動制御方法	摘　要
自動制御 （水車，入口弁，発電機，遮断器）	・始動停止，並解列 ・非常停止	手動操作の場合は省略可 （入口弁等，遮断器）
自動同期	・電圧，周波数，位相調整	手動並列の場合は省略可
励磁装置	・励磁制御，電圧確立	永久磁石発電機，誘導発電機は省略可
調速装置 （ガイドベーン，負荷制限装置， ダミーロード）	・ガイドベーン等による調速制御 ・水調運転，流量一定運転	−
逆変換装置	・インバータ制御(トルク，速度指令)	−

ここで，重錘閉鎖装置付入口弁を適用する場合は，始動時の開操作は手動であり，停止又は事故時は重錘による自重閉操作であるため，自動制御対象にはならない。また，並列用遮断器操作を手動とする場合も，自動同期を含めて自動制御対象外になる。

永久磁石発電機の適用では励磁制御が不要になるが，インバータ制御に対するトルク指令の入力が必要であり，場合によっては速度指令の入力も必要となる。

水位一定運転（砂防ダムや上下水道に適用）や流量一定運転（維持流量水車）が必要な場合は，調速装置を設置する必要があり，山小屋等の単独負荷へ接続する場合は，周波数を一定に保つため，負荷変動に応じたダミーロードの「入，切」が必要となる。

このため，発電システムの構成や運転制御方式に応じて制御対象は大きく変化する。

汎用 PLC のシステムダウンを回避する観点からは，汎用 PLC の容量および処理速度を考慮し，制御対象を少なくして CPU 負担率の低減を図ることが望ましい。

この汎用 PLC 等，制御系のシステムダウン時の対応としては，①維持流量放流の責務から運転継続，事後，保守員による手動停止操作，②水車，発電機非常停止等，運転条件に合せたシーケンスを考慮する必要がある。

(2) 簡易発電システムの保護対象

簡易発電システムの保護項目は，関係法令と経済性を勘案して，#51（過電流），#59（過電圧），#27（低電圧），#64（地絡），#12（過速度）を基本とする。

機器仕様によっては，水車，発電機がベルト駆動の場合，動力伝達ベルト破断等の保護項目を基本項目に加える必要がある。簡易発電システムが系統連系する場合は，技術基準やガイドライン等の技術要件を遵守する必要があるが，これらについては，第８章「関係法令・基準等」で具体的に触れる。

４．４　その他設備

簡易発電システムの主要電気機械設備は水車，発電機および制御・保護装置であるが，その他設備として，入口弁，開閉器，変圧器，水位計等がある。
これら機器の選定は，設置される場所の地点特性や系統連系条件，運転制御方法等で違いがあるため，経済性も考慮して選定する。

【解説】

その他設備は，発電所が設置される場所の地点特性や系統連系条件，運転制御方法，土木設備との協調から，必要により選定され設置されるものである。ここでは，入口弁，開閉器，変圧器，水位計について，その概略仕様を設置事例から説明する。

(1) 入口弁

入口弁は流水を遮断する装置であり，水車付属装置に区分される。入口弁は設備として必ず設置するものではなく，水車形式によりガイドベーン（フランシス水車），ニードル（ペルトン水車），ランナベーン（プロペラ水車）等を有する場合や土木設備に流水遮断ゲートがある場合は，コストダウンの観点から省略されるケースがある。なお，入口弁の省略については，第８章「関係法令・基準等」で具体的に触れる。

出力 500kW 未満を対象とする簡易発電システムではバタフライ弁が一般的であり，その開閉操作は手動のもの，又は開のみ手動で閉は重錘とした重錘閉鎖装置付入口弁が，機器簡素化・合理化の観点から実用化されている。

写真4－3は手動開閉のバタフライ弁，写真4－4は重錘閉鎖装置付入口弁の事例を示す。

写真 4－3　手動入口弁
（φ200㎜ バタフライ弁，利平茶屋水力発電所 22kW）

写真 4－4　重錘閉鎖装置付入口弁
（φ500㎜ バタフライ弁，鯛生小水力発電所 66kW）

(2) 開閉器

開閉器は発電機を負荷へ接続又は系統へ連系させる場合や停止又は事故時等に電気回路から切り離すために必要な装置である。また，各負荷向け配電線にも用いられ,遮断容量・電圧・電流等の電気諸元，単線結線図の回路構成等から種類を選定する。

出力 500kW 未満を対象とする簡易発電システムでは，遮断容量・電圧・電流ともに小さいため，低圧回路では MCCB 又は ELCB（漏電遮断器）が一般的である。また，高圧回路ではコストダウンの観点から,真空遮断器等に替えて限流ヒューズ付きの LBS（負荷開閉器）を適用する場合もある。

写真 4－5 は低圧連系発電所で主回路，系統連系とも ELCB とした事例で，写真 4－6 は 6.6kV 高圧連系で LBS とした事例を示す。

写真 4－5　ELCB
（200V-120A，利平茶屋水力発電所 22kW）

写真 4－6　LBS

（7.2kV-200A，狩宿第二発電所 61kW）

(3) 変圧器

変圧器は系統連系するにあたり，発電機が低圧であって高圧系統に連系するため昇圧する場合又は系統受電で降圧する場合に必要な装置であり，発電機が高圧であって高圧系統に連系する場合は，発電機の絶縁性能や保護協調を充分に検証したうえで省略されるケースがある。

変圧器は安価な油入変圧器が一般的であるが，出力 500kW 未満を対象とする簡易発電システムにおいては，油入変圧器に比べて割高ではあるものの，メンテナンスが容易でオイルレスであることから環境にも優しいモールド形変圧器が適用されるケースもある。

写真 4－7 はキュービクル内に収納された高圧連系用のモールド形変圧器（昇圧）の事例を示す。写真 4－8 は屋内に設置され，安全確保の観点から防護柵で囲われた高圧連系用の油入変圧器（降圧）の事例を示す。

写真 4－7　モールド形変圧器

（6.6kV/440V-100kVA，狩宿第二発電所 61kW）

写真 4－8　油入変圧器
（6.6kV/220V-75kVA，馬曲温泉公園発電所 95kW）

(4) 水位計

水位計は主機の運転制御に水位情報が必要な場合の装置であるが（水位調整運転や応水運転），出力 500kW 未満を対象とする簡易発電システムで，流況変化の少ない発電所では設置しないケースが多い。

一般に水位計には施工性やメンテナンスを考慮して圧力式を適用した事例が多い。写真 4－9 は圧力式水位計の事例を示す。この発電所ではヘッドタンク内の取水スクリーンより上流側に水位計を設置し，応水運転が行われている。

写真 4－10 は超音波式水位計の事例を示す。この発電所では水位情報を主機運転制御に使用していないが，記録として水位情報を収集している。

写真 4－11 は水位計を省略し，コストダウンを目的に入口弁上流側の水圧計で代替した事例である。この発電所では，この水圧計情報をもとに応水運転が行われている。

写真 4－9　圧力式水位計
（清和発電所 190kW）

写真 4－10　超音波式水位計
（常西実証試験設備 5kW）

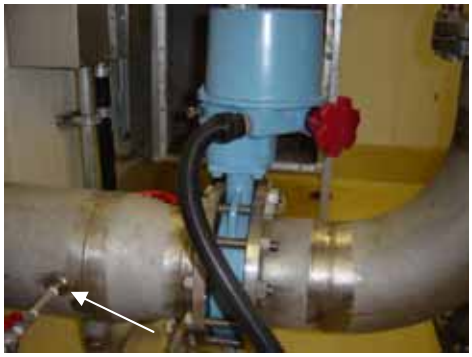


写真 4－11　水圧計による水位計代替
（サッポロビール新九州工場 9.9kW）

４．５　コストダウンの要素

電気機械設備の主要機器である水車，発電機及び制御・保護装置は，簡易発電システムに占める価格比率が大きいことから，そのコストダウンに向けた機器簡素化，付属設備省略，汎用品の採用等を考慮する必要がある。

【解説】

コストダウンを考慮するにあたり，先ず，機器に対しては必要最小限の機能に留め，必要以上の性能を求めないことが必要である。このため，可能な限りメーカー標準品を採用する等，機器価格低減に努めた機器選定が必要である。

ただし，機器仕様の簡素化で合理化を図る方法は，関係法令・基準等との関係整理が必要であり，この部分については，第８章「関係法令，基準等」で具体的に触れる。

ここでは，これらコストダウンの要素について，各項目毎に調査・検討した結果を説明する。また，適用実績が増える傾向にある逆変換装置を有する永久磁石発電機システムにおいて，経済性を踏まえた適用範囲を検討する。

４．５．１　各要素技術によるコストダウン

コストダウンには単純にイニシャルコストダウンする方法と，地点特性を効果的に機器仕様へ反映し，年間発電電力量を大きくしてイニシャルコストと相殺させてコストダウンを図る方法がある。

【解説】

イニシャルコストダウンの方法は，電気機械設備の主要機器である水車，発電機及び制御・保護装置の全体に占める価格比率が大きいことから，機器仕様を簡素化して合理化を図り，単純にコストを下げることである。

地点特性を効果的に機器仕様へ反映し，年間発電電力量を大きくしてイニシャルコストを相殺させる方法は，変流量・変落差のある地点で運転範囲を拡大させるのが具体的であり，それぞれについて対応策を検討した。

(1) 機器別コストダウン

ａ　入口弁の省略又は簡素化

入口弁は水路設備と密接に関係し，関係法令である『発電用水力設備に関する技術基準を定める省令，解釈』により，その省略及び簡素化について規定されていることから，単純にイニシャルコストダウンの目的だけで省略することはできない。関係法令からは，水路又は水車のいずれかに最低限何かしらの止水設備が必要であり，取水設備にゲート等の止水設備を設ける場合は入口弁を省略することができる。

止水設備は水路内点検のための抜水，水車廻り点検のための抜水等，メンテナンス

方法にも影響することから，土木設備と水車設備の協調が取れた計画設計の中で，コストダウンを図る必要がある。

入口弁を設置する場合，入口弁は水車始動・停止時に電動サーボモータ又は圧油装置を用いた自動開閉装置を有しているものが一般的であるが，簡易発電システムでは水車始動・停止頻度が少ないと想定されるため，これらの自動開閉装置を手動開閉，非常時は重錘により閉とする簡素化入口弁の採用がコストダウンに資する。

b　調速装置の省略

水車回転速度を一定に制御するガイドベーン又はニードル，アクチュエータ及びこれらの制御装置全てを省略しようとするものである。ガイドベーンや補機が省略される結果，保守費用の軽減が図れる可能性もある。ただし，同期発電機では系統並列させるための流量・速度調整が必要になるため，基本的には省略できないが，発電機に永久磁石発電機を採用する場合は，逆変換装置制御による速度制御が可能であるので，水車の調速装置を省略できる。また，ダミーロードを設置することにより，調速装置を簡素化できる。

最近では，パワーエレクトロニクスの開発が目覚しく，汎用インバータの適用も可能であり，コスト的にも低廉化していることから，永久磁石発電機によるシステム構成であっても，誘導発電機に比べコストダウンになるとの試算もある（4.2.4 章で示す）。ただし，永久磁石発電機システムにおいて，調速装置を省略した場合は，入口弁或いは適当な流量調整ゲートがないと始動が難しいので，両者の省略は困難である。

c　誘導発電機の採用

誘導発電機は同期発電機に比べると装置点数が少なく，イニシャルコストダウンが図れ，装置点数が少ないことは保守の軽減によるランニングコストダウンにも繋がる。

誘導発電機では調速装置の省略が可能であるが，始動時の流量調整設備（入口弁で代替或いはゲート），出力が大きい場合の系統並列時突入電流対策（ソフトスタート回路或いは順次並列シーケンス），力率改善設備，単独負荷への供給困難等から，その適用にあたっては地点特性の検討が必要である。

d　永久磁石発電機システムの採用

永久磁石発電機システムは励磁装置を有さないことから，同期発電機に比べると装置点数が少なく，コストダウンが図れる。また，調速装置も水調運転や流量一定運転の必要がなければ省略は可能である。ただし，系統連系は逆変換装置を介して行うので，これに関わる付帯設備が増え，コストアップ要因となるが，逆変換装置は風力発電等でも実績が多く，その価格も低廉化している傾向にある。

価格を検討する際には，発電機単品ではなく，逆変換装置を含めたシステムとしての評価が必要である。一般に，システム構成には永久磁石発電機本体，逆変換装置，保護装置が含まれている。

永久磁石発電機は，定格回転速度以下でもその回転速度に応じた出力が得られ，よ

り水車効率の高い運転点を選ぶことができる。このため，運転範囲が広がることにより，特に変落差のある地点に対応できる。

e　標準製品（パッケージ製品）の採用

通常，水車，発電機は地点特性に応じた特別仕様となる場合が多いが，メーカーからは中小水力向けに標準的な機器が数多くラインナップされており，地点特性に近い機器を適用することにより，設計費低減を図ることが可能である。

また，標準製品は調達コスト低減にも繋がるため，相乗効果的にコストダウンを図ることができる。なお，標準製品の適用は，本来目的とする仕様以上のものになるケースも想定され，オーバースペックについては注意が必要である。

f　汎用品の採用

電力規格ではその仕様に厳しい部分があるため，簡易発電システムとして許容できる範囲で，一般産業用として使用されている汎用品を採用することによりコストダウンを図る。水車，発電機の主要機器は対象外になるが，一般産業用で使用される制御・保護装置，配電線用遮断器，汎用インバータ等がある。

以下に具体的項目を列記する。

①並列用遮断器に配電線用遮断器（MCCB）を採用

②永久磁石発電機システムの逆変換装置に汎用インバータを採用

③制御・保護装置に一般産業用コントローラ（PLC）を採用，又はハード回路構成の簡易制御装置を適用

④デジタル式一体形簡易保護装置の適用

(2) 建設費コストダウン

a　一体可搬形水車発電機の採用

中小水力の分野では標準的な一体形基礎（チャンネルベース）に水車，発電機及び制御・保護装置等の電気機械設備を全て組込み，メーカーで工場検査完了後にそのまま現地まで輸送し，現地組立なしに機器を据付けるものである。現地据付工程の短縮化が図れ，実績も多いことから，簡易発電システムへの適用も可能である。

b　電気機械設備の屋外設置

各機器を屋外仕様で製作し，発電所建屋を省略することにより土木部門でのコストダウンを図るものである。屋外仕様とすることによる機器の価格増分はあるが，地点仕様によっては発電所建屋省略と相殺して，経済性が向上するケースもある。

ただし，住宅が密集する都市部や豪雪地帯，塩害地域等では問題が多く，降雨の多い時期にはメンテナンス面で不都合が発生する可能性が高い。また，発電設備は保守上の観点から，一般公衆との明確な区分（立入禁止措置等）が必要であることを考慮すると，地点特性によりケースバイケースとなる。

(3) その他コストダウン

a　標準シーケンス

標準部品がハードであるのに対し，ソフトでも標準化したものを適用すれば，設計費低減によるコストダウンが図れる。このためには，機器制御シーケンスをシンプルなものとし，小水力で似たような地点などで実績のあるシーケンスを標準仕様として適用することも考えられる。

b　簡略化した試験方法

試験費は価格全体に占める比率としては非常に小さいが，標準部品，標準シーケンス等は形式認定相当と取り扱い，試験項目を大幅に省略して，必要最小限の確認のみに留め，試験期間を短縮する方法がある。ただし，試験については自主保安の観点から，予め事業者側でその仕様を明確に規定しておく必要がある。

c　リサイクル

中小水力では変電設備，開閉設備を転用するケースもあり，簡易発電システムにおいても，リサイクルにより補える設備を抽出し，コストダウンを図る方法もある。また，このリサイクルも一般産業用からの部品転用も考えられる。

d　小出力発電設備の採用

電気事業法の一般用電気工作物では,ダムを伴うものを除く出力 10kW 未満の水力発電所は，小出力発電設備として工事計画及び保安規程の届出，電気主任技術者の選任等が該当しないため，手続き業務の省略や電気主任技術者の外部委託費用等を削減することができる。ただし，発電設備における保安の最終責任は事業者にあり，自己責任・自主保安を充分に認識しておく必要がある。

(4) 変流量・変落差対応

変流量・変落差が大きな地点では，水車，発電機の性能から運転に制約が掛かる場合は設備利用率が低減する。この対策として可動羽根化や可変速化が考えられるが，適用にあたっては地点特性や機器仕様，メンテナンス計画，売電単価等を考慮した上でケースバイケースの検討が必要である。

a　変流量

上下水道設備は地点によって日間流量変化の幅が大きく，最大と最小の流量比が大きい場合が少なくない。通常，水車は最大使用水量で最高効率が得られるように設計されるため，運転する流量変化幅が大きいと，部分流量域は効率低下により発電電力量の減少が懸念される。このような変流量特性に追従できる水車を採用することにより，発電電力量の減少を抑え，総合的にコストダウンを図る。

図 4－5 は，変流量対応の可動羽根プロペラ水車で，流量に対する効率特性の一例を示したものである。流量変化範囲を全て運転範囲とする場合，部分流量域の効率低下が著しいため，発電電力量の減少が生じる。

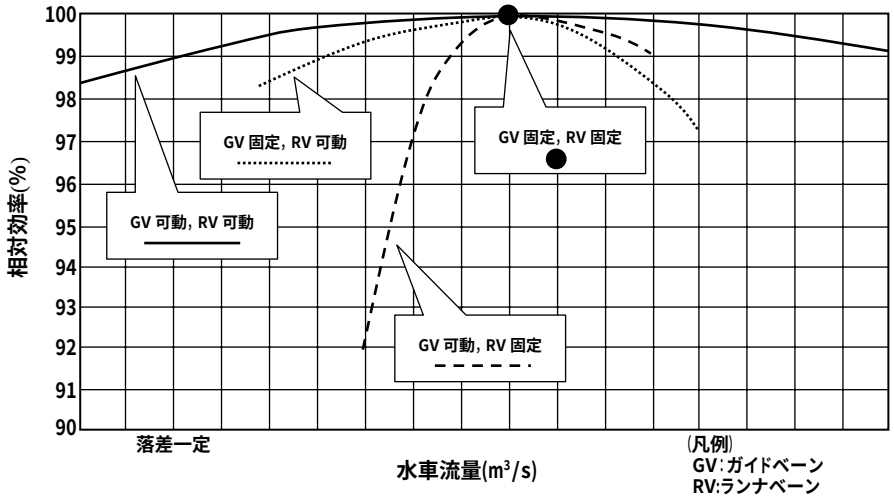


図 4－5　可動羽根プロペラ水車特性

部分流量域の効率低下を改善するため，ガイドベーンを可動にして対応するには限界があり,ランナベーンを可動させることによって,流量に応じた最適開度を選定し，損失低下を抑制する。ガイドベーン可動よりもランナベーン可動の方が運転範囲が広く確保可能で，オンカム点から離れた運転点における水車効率低下が緩やかになる。

このため，部分負荷運転時の効率向上が期待でき，最低負荷運転レベルも下げることができる。ただし，可動羽根の機器単体価格は固定羽根に比べて，一般的に約 30%増となるため，年間発電電力量の増加との経済比較により，地点特性によりケースバイケースでの計画検討が必要である。

また，可動羽根化することにより，その制御シーケンスが追加となり，部品点数も増え，メンテナンス面も固定羽根に比べて不利である。更に，可動部が存在することにより，油流出対策をより徹底する必要がある。

変流量対応では，この他に並列運転方式（複数台による運転・停止切替）や多射ペルトン水車，ガイドベーン分割クロスフロー水車の適用等がある。

b　変落差

貯水池式ダムは水位変化の幅が大きく，最高と最低の落差比が大きい場合が少なくない。通常，水車は基準有効落差付近で最高効率が得られるように設計される。運転する落差変化幅が大きいと，最高と最低落差域は効率低下により発電電力量の減少が懸念されるだけでなく，振動やキャビテーション発生等の問題がある。このような変落差特性に追従できる水車を採用することにより，発電電力量の減少を考慮する必要がある。

変落差に対応するには，回転速度を可変とし，落差に応じた高効率運転を行う方法がある。この可変速化は逆変換装置を必要とし，その制御も複雑であるが，簡易発電システムで対象とする出力 500kW 未満であれば，一次側インバータ方式である永久磁

石発電機とパワーコンディショナの組合せが適用できる。

図 4－6 は，水車特性における等効率曲線の一例を示したものである。

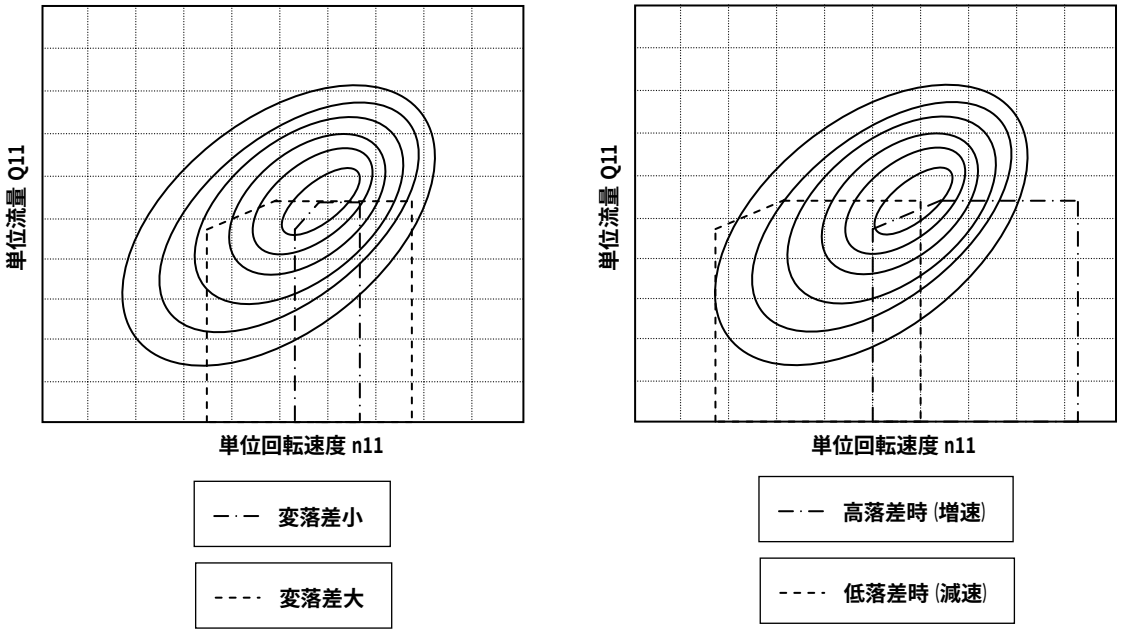


図 4－6　水車等効率曲線

ここで，左側に示すように変落差が大きいと運転範囲が拡大し，最低落差及び最高落差域の効率が最高効率点から離れ，低い効率での運転となる。このため，右側に示すように回転速度を変えることにより運転範囲を平行移動し，その落差に応じた最高効率点で運転する。ただし，運転範囲の拡大と高効率運転は発電電力量の増加を期待できるが，コスト増とシステム制御の複雑化を招く可能性もあり，変流量対応の場合と同様に，最終的に経済性が確保できるかは，地点特性によりケースバイケースであるので，地点毎の計画検討が必要である。

変落差対応では，この他に直列運転方式（複数台による運転・停止制御）の適用等がある。ただし，直列運転方式は基本的に低落差用水車の適用範囲を広げるため，複数台の水車を直列接続させ，水車１台あたりの落差分担を行うものであるが，変落差対応として成立するか否かは低落差となる期間の長さ等，個別地点の条件に負う。

４．５．２　永久磁石発電機システムの経済性

適用実績が増える傾向にある永久磁石発電機システムは，簡易発電システムへの適用が見込まれるが，系統連系のケースでは誘導発電機と競合する。永久磁石発電機システムの経済性を再度評価し，その適用範囲は出力 50kW 未満とする。

【解説】

発電機種類別システム構成比較では，誘導発電機と永久磁石発電機のシステム価格に大きな乖離はなく，系統連系においてはどちらを選定するか競合する。

図 4－7 は,誘導発電機と永久磁石発電機のシステム価格をメーカー調査した見積価格の一例をトレンド比較したものである。比較にあたっては系統連系を条件とし，共通項目となる水車，入口弁，高圧連系設備は含めず，発電機，配電盤（主回路盤，制御・保護装置，単独運転検出装置）のみの価格で比較した。

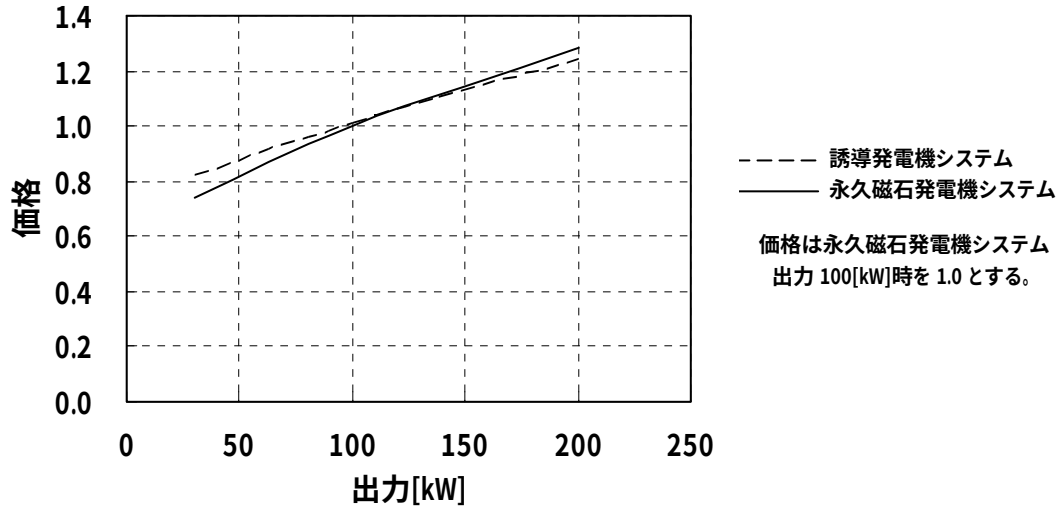


図 4－7　誘導発電機，永久磁石発電機システム価格比較

この結果，極端に大きな乖離は見られないが，出力 120kW 以下程度で永久磁石発電機システムに経済性がある。系統連系を条件にした場合，永久磁石発電機は出力 50kW 未満で低圧連系が可能であることを考慮すると，高圧連系設備の省略も可能となることから，永久磁石発電機システムでコストメリットのあるのは，出力 50kW 未満である。

このため，計画にあたっては，この出力を目安として設計するのが望ましい。

第５章　施工計画・工事工程

５．１　施工計画

施工計画は，立案するうえで必要と考えられる事前調査を実施した上で，所定の工期内に所要の品質の設備を経済的に，しかも安全と環境を損なうことなく完成させるため，労務，資材，機械，動力，給水設備，建物および輸送等を総合的に検討して立案する。

【解説】

施工計画は，立案するうえで必要と考えられる以下の事前調査を実施した上で，所定の工期内に所要の品質の設備を経済的に，しかも安全と環境を損なうことなく完成させるため，労務，資材，機械，動力，給水設備，建物および輸送等を総合的に検討して立案する必要がある。

① 自然条件調査（水文・気象条件，地形・地質 等）

② 工事条件調査（資材購入・運搬・管理等，労働事情，工事用動力，工事用水，補償問題，環境問題 等）

なお，施工計画に関しては既存資料に詳しく解説されているので，本設計マニュアルでは詳細な解説を省略した。したがって，施工計画の立案等にあたっては,巻末資料－15 に示す参考資料等を参照されたい。

５．２　工事工程

工事工程は，適用施設，設置設備の種類，規模，現場の立地条件等を考慮し，経済的な工程を検討して立案する。

【解説】

工事工程は，適用施設（河川維持流量等放流設備，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道施設），設置設備の種類，規模，現場の立地条件等を考慮し，以下の事項等に留意して経済的な工程を検討して立案する必要がある。

① 施工速度と内容のバランス
② 工事用施設および機械類の規模とそのバランス
③ 水文・気象条件
④ 着工並びに施工時期
⑤ 作業量の配分
⑥ 工程に対する余裕

なお，工事工程に関しては既存資料に詳しく解説されているので，本設計マニュアルでは詳細な解説を省略した。したがって，工事工程の立案等にあたっては,巻末資料－15 に示す参考資料等を参照されたい。

第６章　概算工事費・経済性の評価

６．１　概算工事費

小水力発電の工事費は，一般に土木工事費，建築工事費，電気工事費，その他費用に大きく区分される。概算工事費の積算にあたっては，発電事業の目的，適用施設，設置設備，現地状況および計画段階に合わせて，必要な積算項目を取捨選択して工事費を算定する。

【解説】

小水力発電の工事費は，一般に土木工事費，建築工事費，電気工事費，その他費用に大きく区分される。概算工事費の積算にあたっては，発電事業の目的（一般電気および卸供給，自家消費），適用施設（河川維持流量等放流設備，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道施設），設置設備，現地状況および計画段階（地点選定，概略計画，実施設計）に合わせて，必要な積算項目を取捨選択して工事費を算定する必要がある。

なお、概算工事費の算定にあたっては,巻末資料－15 に示すような「水力発電計画工事費積算基準」（以下，積算基準という）を利用できるが，この積算基準は過去に建設された多くの発電所の実績をもとに作成されたものであるため，特に以下の場合は積算基準による算定では誤差が生じる可能性がある。

① 特に小規模な発電設備

② 新しい水車を採用

③ 新しい工法や現場条件に即した施工方法を採用

したがって，上記①～③に該当する場合を含め，概算工事費の精度を高めるためには，経験豊富な技術者による工事費の積算が必要となる。

なお，概算工事費に関しては既存資料に詳しく解説されているので，本設計マニュアルでは概算工事費の詳細な解説を省略した。したがって，概算工事費の算定等にあたっては，巻末資料－15 に示す参考資料等を参照されたい。

６．２　経済性の評価

小水力発電の経済性は，発電事業の目的や計画の段階に適した方法および基準を用いて，開発効果等も総合的に判断して評価する。

【解説】

小水力発電における経済性は，発電事業の目的（一般供給および卸供給，自家消費）や計画の段階（地点選定，概略計画，実施設計）に適した以下の方法および基準を用いて，開発効果等も総合的に判断して評価する必要がある。

＜経済性の評価方法＞
① 建設単価法
（発電所出力(kW)当りの建設費
発電電力量(kWh)当りの建設費）
② 費用便益法
（C／V法）
③キャッシュフロー
（発電計画収支予想）

＜評価基準＞
① 経済性
② エネルギーの安定供給
③ 環境問題への貢献
④ 地域振興 等

なお，経済性評価に関しては既存資料に詳しく解説されているので，本設計マニュアルでは経済性評価の詳細な解説を省略した。したがって，経済性評価に関しては，巻末資料－15 に示す参考資料等を参照されたい。

第７章　運転・保守

簡易発電システムは，電力会社が保有する通常の水力発電所に比べて出力が小さく，また，安定した電力の供給責務を負うところが少ないため，運用面および保守面において仕様を合理化し，コストダウンを図る。
ただし，適用した設備仕様や連系する系統運用に応じ，安全および信頼性を最小限確保したものとする。

【解説】

電気工作物の維持および運用は，電気事業法に定められた保安規程の届出や主任技術者の選任などで義務付けられている。これらは，電気事業者および自家用発電所を有する事業者が行う中規模以上の発電所を対象に定められたものであり，簡易発電システムのような出力 500kW 未満を対象とする小規模発電所については，実績等により安全と判断されるものについては，管理義務の緩和が必要であるとの意見がある。

現在，水力発電所においては，ダムを伴うものを除く出力 10kW 未満の場合は，一般用電気工作物に分類され，小出力発電設備として保安規程の届出や主任技術者の選任などが該当しないため，これまで水力発電に携わった経験のない地方自治体や民間企業等で，出力 10kW 未満の小規模水力発電所が建設され，運用を開始している。

ここでは，運転（監視・運用）および保守（点検・管理）について，合理化するための方法を巻末資料に示す開発事例調査（モニタリング調査）の事例も参考にメーカー等を調査・検討した結果を説明する。また，通常の水力発電所との比較から，簡易発電システムにおける点検頻度の低減について説明する。

７．１　運転（監視・運用）

簡易発電システムにおける監視方式は随時巡回とし，簡易通報装置等による遠隔監視を採用する。

【解説】

監視に関しては，電技第 46 条において，「発電所の運転に必要な知識および技能を有するものが当該発電所またはこれと同一の構内において常時監視しないものは施設してはならない」と規定しており，常時監視が原則とされている。ただし，異常が生じた場合に安全，かつ，確実に停止することができるよう措置を講じた場合は，①随時巡回，②随時監視，③遠隔常時監視の 3 区分にもとづき，保護装置および警報装置の設置を義務付けることにより，常時監視をしない発電所の施設が認められている。

ここで，電技省令の第 46 条は，監視方式区分毎に保護装置，警報装置の設置を義務付

ける規定であって，監視内容について規定したものではないことから，自主保安の観点から，運用にあたり必要最小限の監視項目を抽出すれば，監視の合理化を図ることができる。

簡易発電システムにおける監視方式は，その規模から随時巡回を適用し，簡易通報装置等による遠方監視を採用することで，保守員による随時巡回頻度を大幅に低減することが可能である。さらに簡易通報装置等に汎用性の高いインターネットやモバイルによる web 技術を適用すれば，コストダウンが図れる。

７．１．１　監視方式の合理化

簡易発電システムに採用する簡易通報装置等は，最近の技術進歩が目覚しい web 技術を適用する。

【解説】

web 技術で汎用的な製品としてはモバイル，インターネット等があり，最近の技術進歩には目覚しいものがある。ここでは，これら技術を簡易発電システムへ適用することを目的に，その開発動向を説明する。

(1) モバイル技術の現況

最近のインターネットを含めたモバイル技術の発展には目覚しいものがあり，一般産業のみならず，企業，一般家庭や個人に至るまで，その技術が幅広く浸透し，携帯電話や端末等の汎用的で使用が容易な各種機器が製品化されている。

簡易発電システムは出力 500kW 未満を対象とし，発電停止による系統への影響も小さいと考えられることから，監視区分は随時巡回方式とするが，その監視方法にこのモバイル技術を適用し，遠方監視可能なシステムを構成すれば，随時巡回頻度も大幅に低減し，場合によっては，保守員や保守員を外部委託した経費のコストダウンが図れる。

ここでは，最近のモバイル技術の現況について説明する。

a モバイルの発展

最近，実用化されている一般用モバイル技術を以下に列記する。

①無線技術

・公衆無線（携帯電話，PHS 網）

・無線アクセス（無線 LAN）

・テレビ電話

・音声通話

②携帯端末

・携帯電話

・ノートパソコン（PC），PDA 等

ここで，PDA とは Personal Digital Assistance（Assistant）の略であり，携帯情報端末，電子手帳等を指している。PDA の直訳は「個人用デジタル補助装置」であり，持ち運びが容易な小型コンピュータ等のことである。

・位置情報端末（GPS）

ここで，GPS とは Global Positioning System の略であり，衛星利用測位システム，全地球位置発見システム，全地球測位システム，又は汎世界測位システム等の表現に訳される。

・デジタルカメラ

b モバイル技術の産業応用

モバイル技術の一般産業への応用例としては，以下に列記する通りである。また，「携帯電波網とインターネットを使用した遠隔メンテナンスシステム」，「テレコン付き非常通報装置」等の製品が一般に製品化されており，巻末資料に示す開発事例調査（モニタリング調査）で，大分県中津江村が平成 16 年 4 月から運転を開始した出力 66kW の鯛生小水力発電所や平成 15 年 6 月から運転を開始した出力 5kW の常西実証試験設備で採用されている。

①遠隔監視制御

・リアルタイム監視制御

電圧，電流等の機器状態データをリアルタイムで遠隔監視するシステム

・画像監視

機器状態を ITV カメラ等の画像で遠隔監視するシステム

②維持管理，保守支援

・携帯端末

ノートパソコン（PC）や PDA を使用し，機器状態（点検に際して，過去の点検履歴やトレンド情報等データを含む）や機器取扱説明書等の各種情報が必要に応じて即座に取り出せるシステム

・リモートメンテナンス

遠方から各種情報を取り出せるシステム

ただし，簡易発電システムへの適用にあたっては，無線・有線に関わらず，公共通信網（インフラ）が既に整備されていることが基本的な条件であり，砂防ダムなど山間部に位置する施設によっては適用できない場合がある。

(2) インターネットを利用した監視システム

図 7−1 にインターネットを利用した監視システムの構成図を示す。

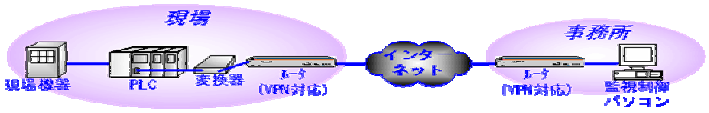


図 7−1　インターネットを利用した監視システム

インターネットの通信回線は,自営又は NTT 専用線，一般電話回線，無線，衛星回線等の公共通信回線網を利用することにより，いずれでも実現可能である。また，一箇所の事務所で複数の現場を監視することも可能であることから，合理的な監視システムを構築することができる。このようなシステムは，既にビル管理や上下水道設備監視で実績があり，簡易発電システムへの適用も可能であると考えられる。

ただし，前述したように簡易発電システムへの適用にあたっては，無線・有線に関わらず，公共通信網が既に整備されていることが基本的な条件であり，砂防ダム等の施設によって整備されていない場合があること，また，工場等構内に簡易発電システムを設置する場合は，簡易通報装置等よりも随時巡回した方が効率的な場合もあるので，通信網を利用した監視システムの構築にあたっては，地点によりケースバイケースでの検討が必要である。

ここで留意しなければならないのは，通信網を整備するためのイニシャルコストアップと点検周期の延長や事故対応の迅速化と言ったランニングコストの低減について得失を検討し，採用の可否を決めなければならないことである。また，インターネットは汎用的な通信手段である反面，不特定多数の一般公衆とも連系していることから，簡易発電システムへの適用にあたっては，不正なアクセスによるデータ外部漏洩や故意な操作によるシステム破壊等，セキュリティに万全を来たす必要もある。

不正アクセスから防御するためのセキュリティ方法を以下に紹介する。

①パケットフィルタリング型ファイアウォール

インターネットとの連系点にファイアウォール（フィルタ）を設定し，入出力通信データの監視を行うもので，送信元や送信先の IP アドレス，ポート番号などによって通信データを通過させるか否かを判断させるタイプのものである。

②アプリケーションゲートウェイ型ファイアウォール

インターネットとの連系点にファイアウォール（フィルタ）を設定し，入出力通信データの監視を行うもので，通信を中継するプロキシサーバを利用し，送信元と送信先を直接通信できないようにするタイプのアプリケーションによるファイアウォールである。

図 7−2 は，インターネットを利用した監視システムとして，長期伝送実証試験の事例を示したものである。これは，複数の分散型電源設備および小規模受電設備の遠隔監視を合理的に行うことを目的に，インターネット技術と小型情報端末を組み合せたシステムとして小規模風力・太陽光ハイブリッド発電装置を被監視設備として長期伝送実証試験を実施しているもので，設備のメンテナンスサービスに低コストで適用可能としている。表 7−1 には被監視設備の機器仕様を示す。

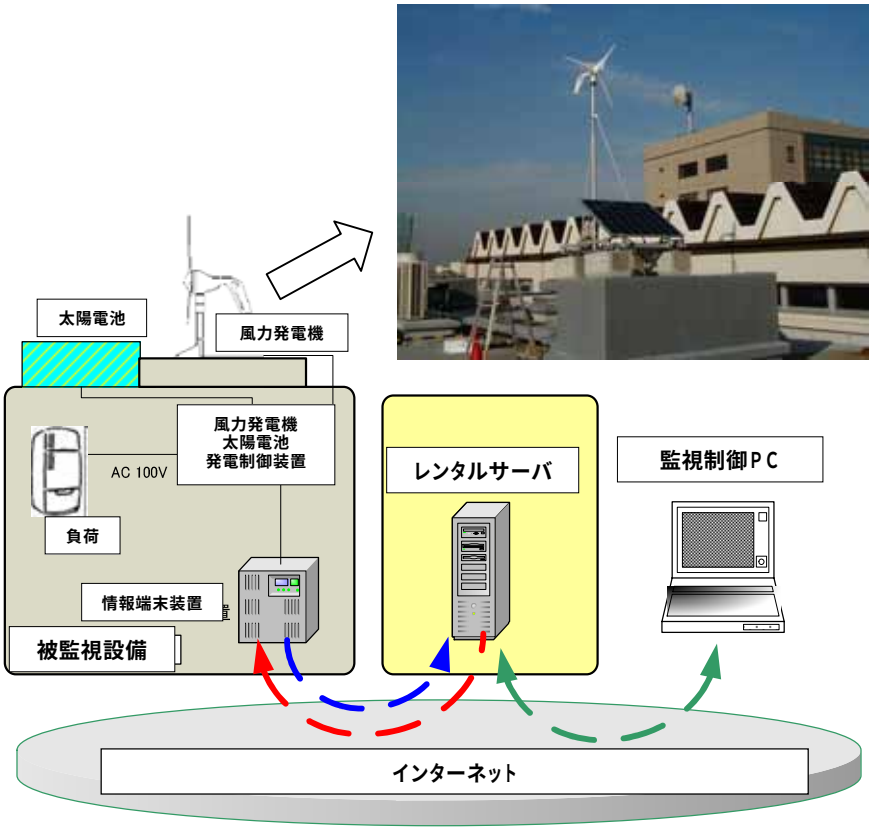


図 7−2　インターネットを利用した遠隔監視システム構成図

表 7−1　小規模風力・太陽光ハイブリッド発電装置仕様

風力発電機		太陽電池	
定格連続出力	450W	定格連続出力	256W
翼径	1.17m	パネル数	2 枚
定格回転速度	1,170min^{-1}		

本システムは，小型の情報端末装置と ADSL 等の汎用インターネット回線およびレンタルサーバ（データベースおよび監視用ホームページ）で構成されている。情報端末から自動的にサーバに報告される機器情報は，汎用 web ブラウザ等を用いて監視することができる。これらのシステムには，従来の監視制御装置のような特殊な機器は用いられていない。

この長期伝送実証試験では，システムの性能・信頼性等を確認し，監視システムの完成度を高め，将来は分散型電源設備や小規模受電設備を始めとする設備のメンテナンスサービスに低コストで適用可能であると考えている。

インターネットを利用した監視システムは，巻末資料－５に示すモニタリング調査（開発事例調査）で，平成 17 年 12 月に運転を開始した出力 5.5kW の嵐山保勝会水力発電所で採用されている。図 7－3 は，システム端末（パソコン）の監視画面を示したものである。監視画面では，運転状態，出力，異常発生時の警報表示，イベント履歴が時系列に表示されている。これは，システム端末以外でも URL，ID，パスワードの情報のみでインターネットから閲覧することができる。

図 7－3　監視システム画面（嵐山保勝会水力発電所）

７．１．２　簡易発電システムの監視項目

簡易発電システムの監視および計測項目は，運転状態が確認できる電力および電圧とし，この他に運用条件等に応じた必要最小限の項目を追加して~~簡素~~合理化を図る。

【解説】

監視については，平成 9 年に実施された電技改正以前には，計測装置に関する規定条文が存在したが，自主保安および自己責任等の観点から削除された。

このため，監視および計測項目に関する関係法令での規定はない。JEAC5001-2000『発変電規程』では，この部分を補完するために計測項目の規程があるが，これはあくまでも民間自主規格として示したものであり，具体的に何を監視，計測するのかの判断は事業者に委ねられている。発変電規程では計測装置を「電圧および周波数の管理，電気機械器具の容量限界の監視，電力潮流の適正配分による安定した系統構成の維持および運

用等，発変電所の運転上必要なもの」と定めているが，これは，中規模以上の発電所を対象にしており，簡易発電システムのような小規模発電所については緩和しても差し支えない。

表 7−2 は発変電規程と比較した，簡易発電システムにおける監視および計測項目を検討したものである。ここでは，基本的に巡視点検時の機器状態，運転状況等は保守員の五感に委ねられる部分があるが，保守員でなくても確認できる必要最小限の計測装置を考えることにした。

表 7−2　簡易発電システムでの監視，計測項目

	監視，計測項目	JEAC 5001-2000 随時巡回方式	簡易発電システムでの項目	JEAC での補足
1	圧力	○	× 基本的に油圧は使用しない。	
2	軸受温度	○	× 500kW 未満であることから，監視は必要としない。	施設する場合は記録計でも良く，小出力の水車，発電機ではサーモラベル，可搬形温度計による間接的な測定方法で良い。
3	無効電力又は力率	○	× 電圧調整の責務は負わない。	
4	電流又は電力	○	○ 電力については，運転状況の監視に必要である。	施設する場合は記録計でも良く，発電機毎ではなく，発電所合計で差し支えない。
5	固定子巻線温度	×	×	記録計でも良く，小出力の水車，発電機の場合は，固定子鉄心に温度計を貼り付けた間接的な測定方法で良い。
6	電圧	○	○ 運転状況の監視に必要である。	記録計でも良い。
7	電力量	×	× 電力量計で積算されている。	

表 7−2 では，基本的に監視および計測項目は，運転状況が確認できる電力，電圧が確認できれば良いと考えた。土木設備に関しては，取水量や水位，水質，ダム堤体等の漏水量など継続的な計測項目はあるが，これら項目は運転状況を確認するうえで緊急性のある情報ではなく，電気設備と同様に監視および計測項目に関しては法的制約はないことから，簡易発電システムにおいて対象項目はないと判断した。

ここで遠方監視する場合は，並列用遮断器開閉，故障警報一括表示および必要により水車，発電機の運転停止（電力で確認することも可能）の項目を加える。土木設備では取水設備の塵詰状況やその他設備監視のための ITV が考えられるが，本来，随時巡回で必要としている設備ではなく，コストアップにも繋がることから考慮しない。

７．１．３　監視業務の外部委託化

保守を含めた監視業務を外部委託することでコストダウンを図る。

【解説】

簡易発電システムの監視方法にモバイル技術を適用し，遠方監視可能な簡易通報装置等を採用すれば，保守員の随時巡回頻度も大幅に低減できる。ただし，発電設備を設置する事業者に，電気主任技術者等の専門的な知識や経験を有する人材がいない場合，機器の状態把握や事故時復旧方法等の判断が難しく，保守も含めて監視を外部委託するケースがある。事業者で人材雇用することも考えられるが，ケースによっては経済性が得られる可能性がある。

電気主任技術者を事業所で選任できない場合（該当する有資格者がいない），電気保安協会へ外部委託するのが一般的であるが，平成 15 年 7 月「保安管理業務外部委託制度（電気事業法施行規則の一部を改正する省令）」を受けて，特定法人枠が廃止されたことから，これ以外に保守や監視業務も含めた外部委託可能な業者（電気保安業者）への委託が可能となった。電気保安業者には複数の協会又は業者があり，業務内容に多少の違いはあるが，簡易発電システムへの適用は期待できる。

巻末資料－５に示すモニタリング調査（開発事例調査）で，監視および保守業務を電気保安業者へ外部委託した事例は見られないが，電気保安業者によると一般的な外部委託よりも 20%程度のコストダウンが図れるとの報告がある。

外部委託ではなく，事業者が人材雇用又は業務を兼務することでコストダウンを図る事例もある。巻末資料－５に示すモニタリング調査（開発事例調査）で，大分県中津江村が平成 16 年 4 月から運転を開始した出力 66kW の鯛生小水力発電所では，隣接する観光施設職員を兼ねた電力会社 OB を電気主任技術者として雇用し，長野県木島平村が昭和 63 年 10 月に運転を開始した出力 95kW の馬曲温泉公園発電所では，自家消費する馬曲温泉施設の管理棟に勤務する職員が遠方監視業務を兼務している。

また，志和掘電化農協（東広島市）が昭和 29 年 9 月に運転を開始した出力 95kW の志和堀発電所では，当直員一名の三交代制による常時監視を実施しており，当直員は地元農家の高齢者で構成され，地元雇用に貢献している事例も見られた。

このように，各所で監視業務のコストダウンに向けた工夫がなされている。

７．２　保守（点検・管理）

簡易発電システムにおける保守（点検・管理）については，点検頻度の延伸や点検項目の省略，点検方法の簡素化により，合理化を図る。

【解説】

保守（点検・管理）には，一般に巡視点検，定期点検，細密点検のように経年計画を立案して定期的に実施する点検と自然災害（地震，台風，洪水，豪雨等異常気象）発生直後に実施する臨時点検，また，事故時復旧や不具合補修等に対応した点検があり，設備を適切に維持管理する。

ただし，出力 500kW 未満を対象とする簡易発電システムは小規模発電所であり，停止による電力供給面での信頼度低下が系統に与える影響は少ないと考えられ，保守管理義務の簡素化を考え，コストダウンに繋げる必要がある。

簡易発電システムで保守を合理化するためには，

①経年的に実施する定期点検等頻度の低減

②定期点検等対象項目の低減

③点検に伴う消耗部品等の削減

を図る必要がある。これらランニングコストの低減は，簡易発電システムが運転を開始した以降の経費節減に大きく寄与する。

近年，機器の余寿命診断技術の開発が進み，この技術の応用によって定期点検等の頻度や項目，各種部品の補修・補強・交換計画等を合理的に決定することが検討されているが，これらは，電気事業者および自家用発電所を有する事業者が行う中規模以上の発電所を対象としており，簡易発電システムには適さない。

また，点検・管理は電気事業法で出力 10kW 以上の水力発電所では，保安規程の届出が義務付けられており，自主保安・自己責任のもと事業者が設定する必要があり，これを遵守する必要がある。ここでは，保安規程の設定を念頭に，簡易発電システムにおける土木設備および電気機械設備に対し，点検の現状，考えられる合理化策，標準的な点検頻度と項目，内容について説明する。

７．２．１　土木設備

簡易発電システムの土木設備に関しては，適正な点検項目と頻度を策定することにより,保守に掛かる費用をできるだけ低減できるよう, 状況を見ながら柔軟に対応するものとする。

【解説】

これまで建設・運転されてきた一般水力発電所では，規模が小さくとも，工作物の異常の有無，周辺状況の把握，機能の確認のため，定期的な点検を行い，必要に応じて修繕等を行っている。また，点検項目と頻度については工作物の構造，重要度，経過年数等を総合的に勘案して定めている。

しかし，簡易発電システムにおいては，点検項目（点検箇所）と頻度を絞り込む等，できるだけ合理化し,維持管理費のコストダウンを図るものとする。そのため土木設備の保守は，状況を見ながら点検項目と頻度を変更する等,柔軟な対応が求められる。

なお，表 7−3 は，以下の事項を考慮して整理した簡易発電システムの土木設備に対する点検項目と頻度を示したものである。

(1) 簡易発電システムの土木設備の点検について

ａ　点検項目の削減について

前述のとおり，点検項目に関する具体的な法的規定は存在しない。

しかし, 水技に適合するよう, 自己責任の下に自主的に維持管理を行うためには，具体的な点検項目を決定しなければならない。

一方，簡易発電システムにおいては，出力が小さいため，安全面で他に影響を及ぼすことが少ないものと考えられる。さらに，停止による電力供給面での信頼度の低下が系統に与える影響も小さいと考えられる。

したがって，土木水設備の点検項目は，水技に適合させ得るために必要な項目について検討した。

そのために，まず既設小水力発電所における発電出力低下および発電停止となった事故に対し，その原因を調査した。その結果，小水力発電所の出力低下・発電停止の原因は，主に以下の示す事項に集約される。

- スクリーンの流木，落葉の目詰まり
- 洪水による取水口，沈砂池の砂礫の堆積
- 水車ランナー，ガイドベーン等のゴミ詰まり

表 7−3　簡易発電システムの土木設備に対する点検項目と頻度

	点検頻度	対象設備	チェックポイント
巡視	1回/月程度	取水口・沈砂池・水槽	・損傷等異常の有無。 ・取水口，沈砂池，水槽に砂礫が流入していないか。
		スクリーン	・流木・枯れ葉が流入していないか。
		ゲート	・電源，ロック装置等の状況。
		除塵機	・塵芥等異常の有無。
		水圧管路	・損傷，変形，沈下等異常の有無。 ・水圧管路から漏水が生じていないか。
		発電所基礎	・変形，ひびわれ，湧水等の確認。
定期点検	1回/年※1	取水口・沈砂池・水槽	・損傷，変形，ひびわれ，凍害，磨耗，洗掘等の確認。
		スクリーン	・損傷，変形，取付ボルトのゆるみ，塗膜の劣化等の確認。
		ゲート	・損傷，変形，磨耗，給油，塗膜の劣化等の確認。 ・操作盤の端子締付，配線，電磁開閉器リレーの動作等の異常有無。 ・各機器の指示計，スイッチ類表示ランプの状況。
		除塵機	・ レーキの損傷，走行装置，コンベアの異常，腐食，塗膜劣化等の確認。
		水圧管路	・損傷，変形，沈下等の確認。 ・管胴および支承部の損傷，変形，振動，漏水，塗膜劣化等の確認。
		発電所基礎	・変形，ひびわれ，湧水等の確認。
		その他	・周辺地山の崩壊，地滑り，湧水等の確認。 ・周辺構造物の変形，ひびわれ，湧水等の確認。
臨時点検	地震，洪水，大雨等異常気象時の直後	導水路，水圧管路（露出管），発電所建屋	・異常な変位，ズレや亀裂が生じていないか。
		導水路周辺	・周辺斜面に斜面崩壊が生じていないか。
		その他	・日常点検の項目。

※1； 地質，地形，巡視および点検実績等により，公衆等第三者に重大な影響を与えないと判断されるものについては，設備ごとの特性を考慮して点検頻度を減少させることができる。この場合，点検頻度減少の限度は規程しない。

したがって，小水力発電所に対する点検においては，以下の事項を重点的に実施する必要があるものと判断される。

- 取水口等のスクリーン設置箇所の塵芥（除塵機の正常動作）
- 沈砂池の堆砂状況

また，簡易発電システムにおいて，電気工作物の損壊が第三者に影響を与える可能性が大きいのは，水圧管路の破損・損傷である。したがって，取水口付近の点検に加え，以下の事項が必要になる。

・ 水圧管路の適切な点検（漏水の防止，継手の整備，空気管および空気弁の整備，振動の軽減等）

簡易発電システムにおいては，上記重点事項へ絞り込むことにより，一般の水力発電所の点検項目を削減することができる。

b 点検頻度の低減について

点検項目の低減に対する検討と同様に，設備の延命化によるコストダウンを図るため，定期的な点検により各種電気工作物の異常の有無を確認し，必要に応じて適切な対応を計ることも重要である。しかし，この定期的な点検については，過度な頻度で実施された場合はランニングコストの増加を招く可能性もある。

そこで，簡易発電システムの採用を前提に，最低限の点検頻度について検討した。

一般水力発電所の点検は，巡視，定期点検（外部点検），定期点検（内部点検），臨時点検に区分している。ここで，

・ 巡視とは，工作物の異常の有無および周辺の状況を把握するために行う見回り，軽微な手入れをいう。

・定期点検（外部点検）とは，工作物の異常の有無，機能の確認，その状況を把握するために定期的に行う点検，手入れをいう。

・定期点検（内部点検）とは，抜水状態等で水路内部の異常の有無，機能の確認等その状況を把握するために定期的に行う点検，手入れをいう。

・ 臨時点検とは，地震，洪水，大雨の前後，その他必要に応じて行う点検，手入れをいう。

巻末資料―10 に一般的な土木構造物の点検内容事例を示す。

簡易発電システムにおいては，規模が小さいことから安全面において他に影響を及ぼすことが少なく，発電停止による系統への影響も少ないと考えられる。

また，簡易発電システムでは，土木設備の一部（あるいは大部分）を既存の設備の兼用で対応するため，発電専用の設備は比較的少ない。

以上のことから，簡易発電システムにおいては，一般の水力発電所の点検頻度に対する低減が可能である。

なお，『水門鉄管技術基準』では，以下のような規程がある。

（管内点検） 第 100 条　　水圧鉄管は必要に応じて管内の水を排水し，水圧鉄管の維持に必要な点検を行わなければならない。

この規程は水圧管路の内部点検に関係する。しかし，簡易発電システムにおいては管路の内径が比較的小さいため，マンホール（ハンドホール）の設定が難しい場合が多い。したがって，上記規程に対しては，上水道や下水道の事例を参考にするものとする。

(2) 簡易発電システムの土木設備に対する点検項目と頻度

簡易発電システムによる水力発電所の土木設備に対する点検（巡視を含む）項目と頻度は，表 7－3 に整理した。

ただし，土木設備の点検の基本は，電気事業法に準じて水技に適合するよう，自己の責任によって必要な点検を実施することである。

したがって，表 7－3 はあくまでも一案であり，実際には当該発電所の特性および重要度を基に，合理的かつ必要十分な点検項目と頻度を決定する必要がある。

なお，参考として，簡易発電システムを採用した水力発電所の土木設備に対して，表 7－3 を基にして点検項目と頻度を検討する際，注意すべき事項を以下に整理した。

① 電気工作物のうちの土木設備は，地形，地質，気象等の自然環境および社会環境等により，事業者および工作物ごとに設備内容が異なる。したがって，土木設備の機能を合理的に維持し，保守運用業務の効率的な運営を図るためには，各土木設備の構造，重要度等を総合的に評価・検討する必要がある。

② 対象施設によって点検項目および頻度に差が出ることを考慮する必要がある。例えば，砂防ダムのように周辺環境が比較的厳しいものに対し，下水道施設利用等の場合は周辺環境が比較的やさしい。具体的には，寒冷地（降雪，凍結）や降雨・台風（洪水）の影響等が考えられる。

③ 自己責任が原則であるため，事業所内の単独運用（系統連系なし）のように他の機関への影響が全くない場合，最低限の点検項目・頻度とすることができる。

④ 自家用電気工作物の場合は巡視・点検等の保安業務の委託が認められているため，点検項目および頻度の設定に対し，保安業務の委託による合理化と合わせた検討が必要となる。

⑤ 電気設備に対する監視体制に付随して，土木設備の監視を同時併行に実施が可能であれば，土木設備に対する巡視項目および頻度の低減が可能となる。

⑥ 自動除塵機の設置等，保守の一部を自動的に実施する場合，その効果を考慮して巡視・点検の項目および頻度を検討する。

⑦ 発電所用ダム（維持流量発電）や下水道施設のように，同じ敷地内に施設があって，敷地内に技術者が駐在する場合は，巡視項目および頻度の低減が可能となる。

⑧ 農業用水利施設や発電所用ダム（維持流量発電）のように，使用水量が期別に変動する場合は，その変動を考慮して点検の頻度を検討する。

⑨ 上工水施設のように，年間を通じて使用水量が一定の場合，各工作物の運用状況もほぼ一定に保たれるため，点検項目および頻度の低減が可能となる。

(3) 適用施設別の点検に影響を与える要因の整理

前項で設定した簡易発電システムにおける土木設備の点検項目と頻度を考える際の参考として,点検に影響を与える要因について整理した。

例えば，砂防ダムや農業用水利施設のように，土砂やゴミ・落葉等の流入が多い施設では，取水設備に対する点検の割合が大きくなるが,上水道・工業用水利施設や下水道施設では土砂やゴミ・落葉等の影響が少なく，取水設備に対する点検の頻度も異なってくるものと考えられる。

取水地点が管理所から遠い場合と近い場合，管理体制に余裕がある場合とそうでない場合を比べると，遠い場合あるいは管理体制に余裕がない場合はできるだけ点検頻度を低減させることがコストダウンに繋がるが,近い場合あるいは管理体制に余裕がある場合は，点検回数が多くなっても全体コストにそれ程大きくは影響しない。

対象施設ごとに，上記のような点検計画に影響を及ぼす要因を，表 7－4 に整理した。

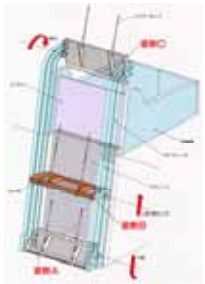
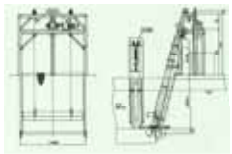
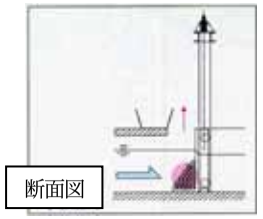
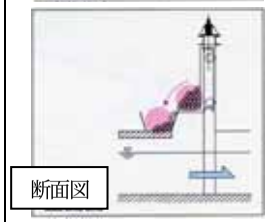
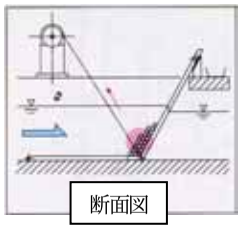
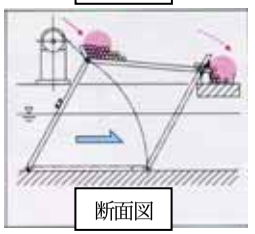
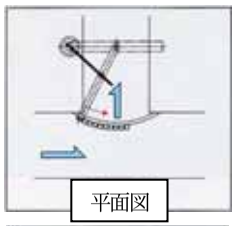
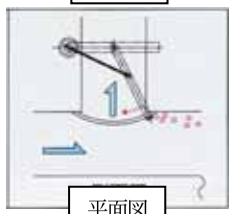
また，簡易発電システムへの採用を念頭においた取水設備の維持管理の効率化に寄与する除塵機の採用事例を表 7－5 に示すとおり整理した。表 7－5 に示す除塵機は，比較的安価で水力発電以外で使用されているものである。これら他分野で使用されている除塵機を水力発電で採用するにあたっては，スクリーンバーを通過するゴミ・落葉などが水車ランナに影響を及ぼさないバーピッチとする必要がある。

なお，前述したとおり,「スクリーンの流木，落葉の目詰まり」が既設小水力発電所における出力低下・発電停止の原因のひとつに上げられているとおり，取水口等の除塵に対する維持管理の効率化は, 取水障害を引き起こさないよう慎重に検討する必要がある。

表 7－4　点検に影響を与える要因の整理

施設状況		地形的要因	流量制御等	砂礫，ゴミ・落葉等の状況	保守管理体制
河川維持流量等放流設備	ダム	同上	期別変動以外は，取水量が安定しており，管理面では負担が小さい。	砂礫，ゴミ・落葉とも比較的少なく，管理面での負担が小さい。	現有の管理体制で対応可能な場合が多い。
	堰	同上	同上	砂礫，ゴミ・落葉とも流入する可能性が高く，管理面での負担が大きい。	同上
砂防ダム		同上	河川流量が変動し，洪水時の対応も必要になるため，管理面での負担が大きい。	砂礫，ゴミ・落葉とも流入する可能性が高く，管理面での負担が大きい。	地元役場等による管理となり，新たに技術者や管理体制を確保しなければならない場合が多い。
農業用水利施設	ダム	管理事務所から遠隔地の場合，管理に時間を要することがある。	期別変動以外は取水量が安定しており，管理面では負担が小さい。	砂礫，ゴミ・落葉とも比較的少なく，管理面での負担が小さい。	管理団体（土地改良区等）の規模が大きいと，内部の管理者で対応できる。
	取水堰	同上	同上	砂礫，ゴミ・落葉とも流入する可能性が高く，管理面での負担が大きい。	同上
	落差工 急流工	同上	同上	ゴミ・落葉が流入する可能性があり，管理面での負担がやや大きい。	同上
上水道･工業用水利施設	ダム	同上	取水量の日間変動が大きい場合，管理面での負担が大きくなる。	砂礫，ゴミ・落葉とも比較的少なく，管理面での負担が小さい。	管理団体（水道管理者）の規模が大きいと，内部の管理者で対応できる。
	堰	同上	同上	砂礫，ゴミ・落葉とも流入する可能性が高く，管理面での負担が大きい。	同上
	落差工 急流工	同上	同上	ゴミ・落葉が流入する可能性があり，管理面での負担がやや大きい。	同上
下水道施設	放水口 急流工	管理事務所から近く，管理に時間が掛からない。	同上	砂礫，ゴミ・落葉ともほとんどなく，管理面での負担が小さい。	管理団体（下水道管理者）の規模が大きいと，内部の管理者で対応できる。

表 7－5　除塵機の事例

名　称	無動力除塵機	小型除塵機 （ネット型ストレートフロー式）	小型除塵機 （ネット型ストレートフロー式）	レーキスキップ式	L 型スクリーン昇降式	パンタグラフ型	横スクリーン ワイパーレーキ型
概　要	水車の力でレーキの動力を得る無電力除塵機（無電力箇所に有効）。	ネットを回転させ，圧力水で付着した落ち葉等を洗い流す。	ネットを回転させ，圧力水で付着した落ち葉等を洗い流す。	モーターを正転，逆転させ，レーキを上限･下限で停止させるだけの制御で，あとはレーキ自身の重心移動で除塵作業を行う。	ウインチにより L 型スクリーンを上昇させ，人力にて除塵する。	ウインチにより主スクリーンを引き上げ，人力にて除塵する。	横取り式の水路取水口用であって横方向のスクリーンとワイパー式のレーキにより，付着した塵芥を水路下流へ流下させる。
概算価格	約 500 万円	約 100 万円	約 300 万円 （水路幅 0.6m×高さ 1.5m 程度 （据付費別）	約 700 万円 （水路幅 2.5m×高さ 3.0m 程度	約 200 万円～250 万円 （手動式 スクリーンバーピッチ 50 ㎜ 水路断面 2m²）	約 200 万円～250 万円 （手動式 スクリーンバーピッチ 50 ㎜ 水路断面 2m²）	約 100 万円～300 万円 （手動式 スクリーンバーピッチ 50 ㎜ 水路断面 1m²）
特記事項	水車ロスによるエネルギー減に配慮要す。	簡素な構造で安価，比較的小規模な鉄工所で製作。養魚場等で利用されている。	上水道の取水設備用に製作されたもので，ステンレス製。	ワイヤードラム直結のギヤードモーターのみでレーキを動作させている単純な構造であり，特別な減速機構や制御も省略でき，シンプルゆえに低価格である。	スクリーン下部に棚を設けているので，スクリーン上昇中でも，塵芥が水路に落下しない。2 基直列に設置して，交互に使用すれば除塵作業中でも塵芥を下流に流すことはない。	主スクリーンを引き上げた時，副スクリーンが同時に起立するので除陣作業中でも塵芥を下流に流さない。	横取り式の水路取水口に設置する。塵芥は本水路下流に流すため塵芥の小運搬が不要。 レーキを往復又は，レーキを往復又は，回転させることで除塵する。
写真･構造図	 	 	 （参考） 	  	  断面図  断面図	  断面図  断面図	  平面図  平面図

７．２．２　電気機械設備

簡易発電システムの点検は，巡視点検記録から機器の状態を把握し，必要に応じて実施する臨時点検を基本とする。ただし，経年的な定期点検等を保安規程で設定する場合は，通常の水力発電所よりも点検頻度および機器点検項目の低減を図る。

【解説】

点検はランニングコストに大きく影響することから，合理化を図るためには，①経年的に実施する定期点検等の点検頻度を延伸する，②点検に伴う消耗部品等の交換数量を削減するなどメンテナンスフリー化を図った機器設計も必要である。

メーカーからは小型で簡素な構造，少ない交換部品とした標準品の水車，発電機が製品化されており，これら機器を選択するのも一つの方法である。

点検を実施する第一目的は，関係法令（『電気事業法』および『電気設備に関する技術基準を定める省令』）にもとづき，「異常が生じた場合に人体に危害を及ぼし，若しくは物件に損傷を与えることがないよう」とした保安にあり，事業者としては機器延命化を図り，ランニングコストを低減させる目的もある。このためには，適切な設備維持管理のための点検・補修・交換・改造等が必要である。

ここでは，簡易発電システムにおける電気機械設備で，現状，考えられる点検の合理化策と点検区分，標準的な点検項目および内容について説明する。

(1) 点検区分

表 7－6 は，一般水力発電設備に対する簡易発電システムにおける点検の考え方を示したものである。巻末資料－５に示すモニタリング調査（開発事例調査）で聞き取り調査した結果と比較すると，概ね巡視点検および定期点検は同等の点検頻度で計画しているが，細密点検は 10 年に 1 回で予定している事例が多い。

簡易発電システムでの考え方は，①一般に機器構成部品が少ないことから，点検頻度の延伸でランニングコストの削減が可能，②電力供給における信頼性は二次的なものとして位置付けていることから，事故時は停止させることを優先させ，極め細かい点検は省略することにした。

巻末資料－５に示すモニタリング調査（開発事例調査）を反映すると，細密点検を 5 年から 10 年へ延伸することが考えられるが，水車，発電機の軸受交換時期（メーカー推奨：機器形式や種類による）が 5 年程度である機器が多いことを考慮すると，これに合せた点検頻度が望ましく，現時点では 5 年から変更しないことにした。

表 7−6　簡易発電システムにおける点検の考え方

区分	一般水力発電設備	簡易発電システム
巡視点検	・2週間に1回程度 ・水車，発電機を停止せず，外観点検を主とした目視点検および計測値記録	・1ヶ月に1回程度 ・水車，発電機を停止せず，外観点検を主とした目視点検および計測値確認
定期点検	・半年に1回程度 ・水車，発電機を停止させ，水車廻りを抜水しない普通点検（1日程度）および水車廻りを抜水する定期点検（2～3日）として実施	・1年に1回程度 ・水車，発電機を停止させ，水車廻りを抜水する定期点検（1日）として実施 ・普通点検は対象外
細密点検	・5年に1回程度 ・水車，発電機を停止させ，水車廻りを抜水して水車，発電機の一部を分解する細密点検（1週間程度）として実施 ・10年に1回程度は，水車廻りを抜水して水車，発電機の全部を分解する特別細密点検（1ヶ月程度）として実施	・5年に1回程度 ・水車，発電機を停止させ，水車廻りを抜水して水車，発電機の一部を分解する細密点検（1週間程度）として実施 ・定期的な特別細密点検は，原則として実施しない

点検頻度については，関連する土木設備の点検や適用施設毎の関連設備点検に同調させることが停止期間の短縮に繋がり効果的であることから，簡易発電システムの運用条件も含め，地点特性を考慮した点検計画の立案が必要である。

(2) 機器別点検頻度

表 7−6 に示した簡易発電システムにおける点検の考え方にもとづき，巻末資料−11 に点検対象機器別点検頻度表を示す。これは，水車（フランシス，固定羽根プロペラ，クロスフロー），発電機および逆変換装置の各機器に対して，構成部品毎の点検項目，交換部品等の点検頻度を検討したもので，簡易発電システムと比較する一般水力発電設備の点検頻度は，メーカー推奨事項を参考に整理した。

点検頻度は，ランニングコストとの関わりが非常に強く，極力実施しなければコストダウンに繋がるが，日頃のメンテナンスは機器寿命の延命化，重大事故に至った場合の損害（機器更新，近隣への補償等）も考慮して立案する必要がある。

水力発電設備に関わる点検頻度，点検項目等に関する関係法令等の規制はなく，事業者の自主保安・自己責任に委ねられている。ただし，電気事業法では出力 10kW 以上の水力発電設備に関し，保安規程の届出が義務付けられており，点検・保守計画はこの保安規程の中で網羅される。

(3) 点検方法

電気事業者および自家用発電所を有する事業者が行う中規模以上の発電所では，従来から点検については，経年計画にもとづく TBM（Time Based Maintenance）が志向されていたが，最近の状態監視技術等の向上により，CBM（Condition Based Maintenance）に切替えて運用するケースが多い。

ただし，簡易発電システムは小規模発電所であり，事故時は停止させることを優先

させ，きめ細かい点検は省略するとの考え方から，状態監視技術等を導入したきめ細かい状態評価は適さない。

巻末資料に示す開発事例調査（モニタリング調査）の地点では，初回点検結果から次回点検時期を延伸したり，定期点検結果から細密点検時期を延伸するケースが確認され，ランニングコストの低減が図られていた。

第８章　関係法令・基準等

本マニュアルで対象としている簡易発電システムも，水力発電設備の一形態であることから，水力発電設備に関わる関係法令および基準類に準拠する必要がある。

【解説】

ここでは，簡易発電システムを設置するにあたって必要となる関係法令及び基準を電気事業法，河川法（関連する技術基準等を含む）を中心に抽出・整理する。

また，これらに基づく諸手続きについて抽出・整理し，適用施設別に分類する。

簡易発電システムに直接関わる法体制整備等で，平成 16 年 10 月の『系統連系技術要件ガイドライン』及び平成 16 年 11 月の『発電用水力設備に関する技術基準を定める省令，解釈』について，それぞれ改正概要及び簡易発電システムとの関わりについて解説する。

８．１　法令・基準及び規程

簡易発電システムが準拠すべき関係法令の根幹となすものは，河川法と電気事業法である。

【解説】

河川法は，河川について洪水，高潮等による災害の発生が防止され，河川が適性に利用され，流水の正常な機能が維持され，及び河川環境の整備と保全がされるようにこれを総合的に管理することにより，国土の保存と開発に寄与し，もって公共の安全を保持し，かつ，公共の福祉を増進することを目的としている。

電気事業法は，電気工作物の工事，維持及び運用を規制することにより，公共の安全を確保し，また，環境の保全を図ることを目的としたものである。

簡易発電システムにおける主要関連法・基準・規程・指針等の体系を図 8－1 に示す。

法体系的には，上位の河川法及び電気事業法から関連技術基準，技術基準の解釈，ガイドラインの順に構成され，これと並行して建築基準法，砂防法等の関連法令や技術基準等を補完する民間規程（電気技術規程等）が関与するフローとなる。

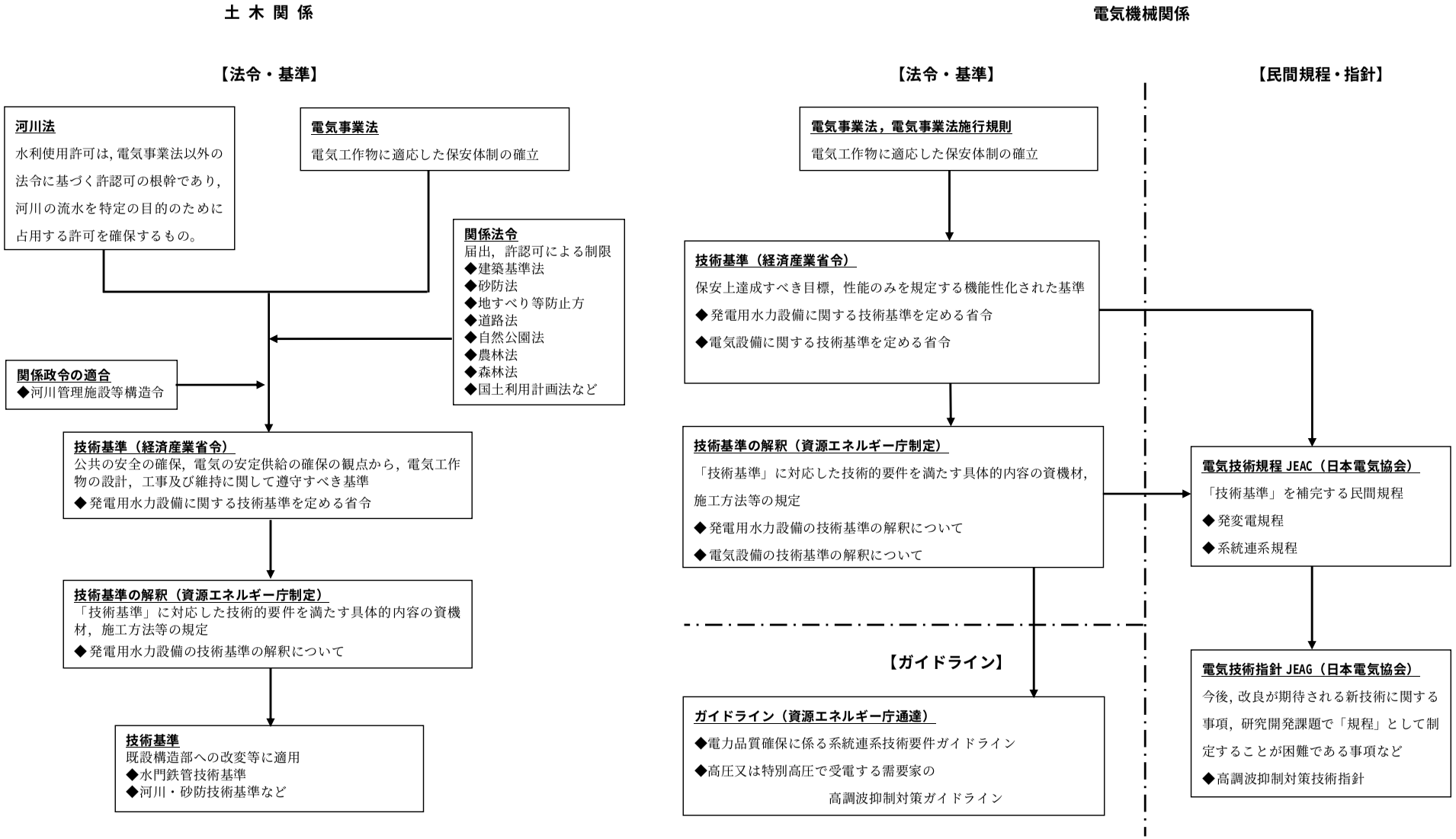


図 8－1　簡易発電システムにおける主要関連法・基準・規程・指針等体系

８．１．１　関係法令

(1) 電気事業法

電気事業法は，電気工作物の工事，維持及び運用を規制することにより公共の安全を確保し，また，環境の保全を図ることを目的としている。

【解説】

電気事業法では，電気工作物を一般用電気工作物と事業用電気工作物とに区分し，さらに，事業用電気工作物は電気事業用電気工作物と自家用電気工作物とに区分してそれぞれの電気工作物に適応した保安体制を確立することを求めている（法第 38 条）。

図 8－2 は，電気工作物の区分を模式的に示したものである。ここで，一般用電気工作物は，「600V 以下で受電（電気事業法施行規則第 48 条第 2，3 項），又は一定の出力未満の小出力発電設備で，受電線路以外の線路で構内以外の場所にある電気工作物と電気的に接続されていない電気工作物」と定められている。

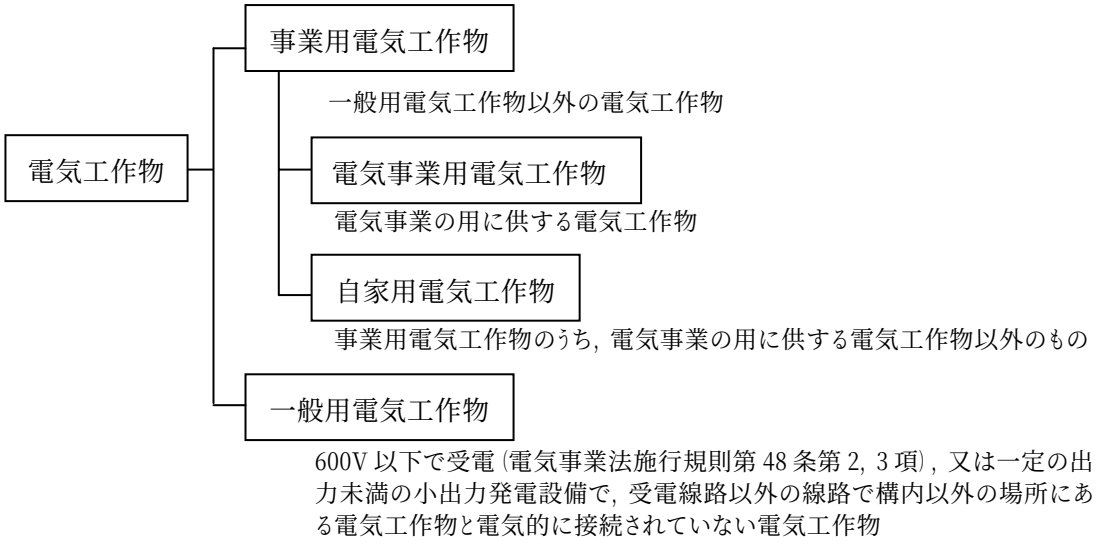


図 8－2　電気事業法第 38 条「電気工作物」

ここで，「一定の出力未満の小出力発電設備」は，電気事業法施行規則第 48 条第 4 項の各号において，その規模が定められており，水力発電設備にあっては，「出力 10kW 未満のもの（ダムを伴うものを除く）」とある。なお，同一の構内に設置された他の設備と電気的に接続され，それらの設備出力の合計が 20kW 以上となる場合は除かれる。

電気事業法及び電気事業法施行規則に基づく電気工作物の分類フローを図 8－3 に示す。なお，電気工作物の区分条件は，主に電気工作物の電圧，出力及び接続箇所による。

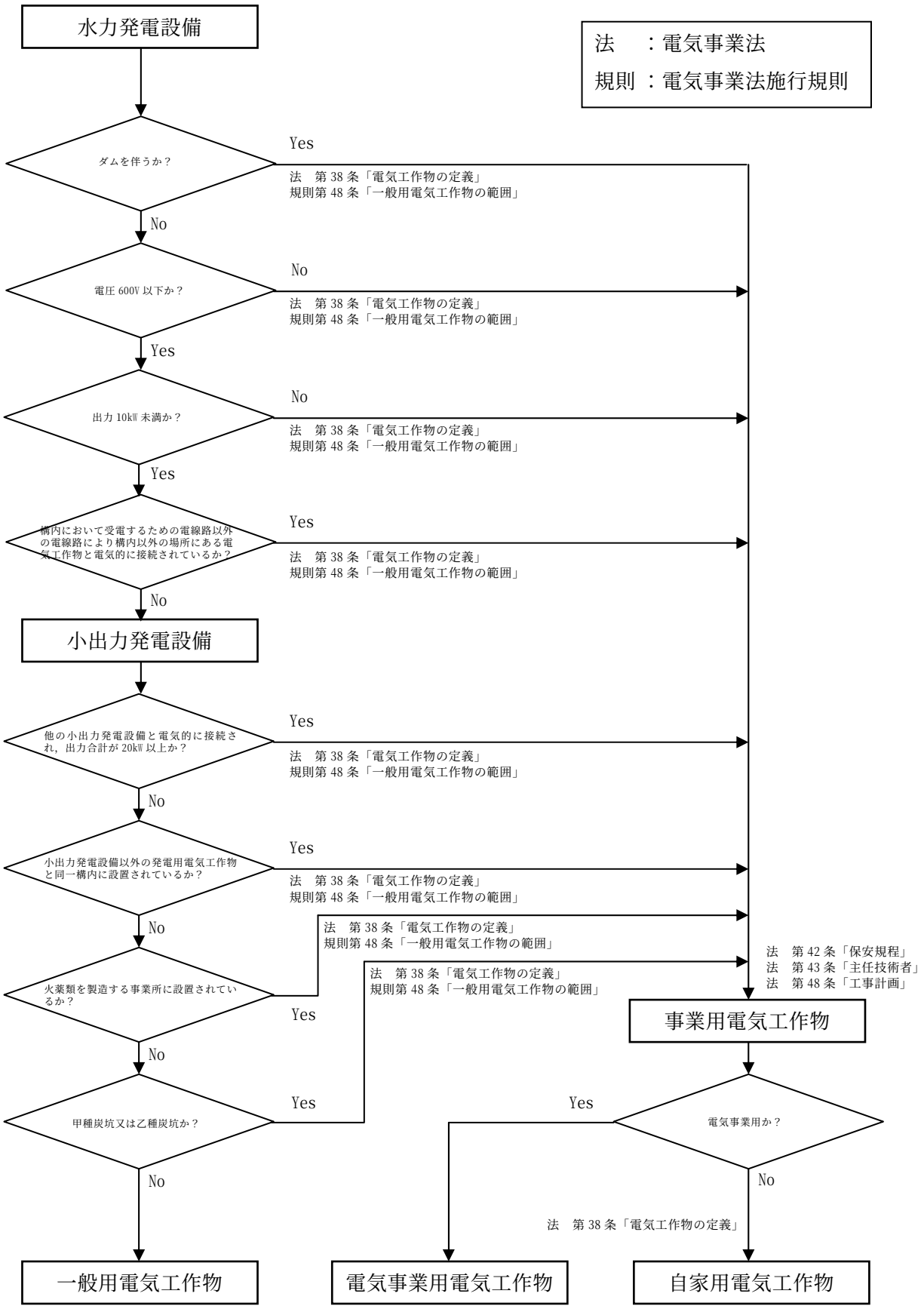


図 8－3　電気工作物分類フロー

電気事業者又は自家用電気工作物設置者に対しては,自主保安体制の整備を図るため,常に技術基準に定めるところに従い,電気工作物を正常な状態に維持しておかなければならない義務（法第 39 条),電気工作物の工事,維持及び運用に関する保安の監督を行わせるため主任技術者を選任しなければならない義務（法第 43 条),電気工作物の工事,維持及び運用に関する保安確保のため,保安規程を作成し届け出なければならない義務（法第 42 条),事業用電気工作物を設置又は変更する際,工事計画を作成し届け出なければならない義務（法第 48 条）等を課している。

一般用電気工作物の保安に関しては,保安の最終責任は,その一般用電気工作物の所有者又は占有者にあるが,合わせて一般用電気工作物に電気を供給する者（電力会社等）に,一般用電気工作物が技術基準に適合しているか否かを調査する義務（法第 57 条）等を課している。

表 8－1 は,一般用電気工作物（小出力発電設備）に関わる法的な適用範囲を示したものである。ここで,後述する水技解釈の改正により,これまで電気事業法第 56 条「技術基準適合命令」と関連する第 39 条第 2 項第一,二号で該当した「人体に危害を及ぼし,又は物件に損傷を与えないようにすること」,「他の電気的設備その他の物件の機能に電気的又は磁気的な障害を与えないようにすること」の具体的一例が示されることになった。

表 8－1　小出力発電設備に関わる規定

項　目	適用法令	事業用電気工作物	一般用電気工作物	
			小水力発電設備	受電設備
保安規程	法第 42 条	○	×	×
主任技術者	法第 43 条	○	×	×
工事計画	法第 48 条	○	×	×
使用前安全管理審査	法第 50 条の 2	△※	×	×
事業用電気工作物の維持	法第 39 条	○	○ 第三，四号を除く	○ 第三，四号を除く
技術基準適合命令	法第 40 条	○	×	×
	法第 56 条	×	○	○
調査の義務	法第 57 条	×	×	○

※：水力発電所にあっては，出力 3 万 kW 未満であってダム高さが 15m 未満のもの以外

(2) 河川法

河川法は，河川について洪水，高潮等による災害の発生が防止され，河川が適正に利用され，流水の正常な機能が維持され，及び河川環境の整備と保全がされるようにこれを総合的に管理することにより，国土の保存と開発に寄与し，もって公共の安全を保持し，かつ，公共の福祉を増進することを目的としている（法第１条）。

【解説】

法の他に，河川法施行令，河川法施行規則，河川管理施設等構造令，河川管理施設等構造令施行規則等で構成されている。

地方公共団体では，河川法施行令及び河川法施行規則に基づき，「河川管理条例」，「河川法施行条例」，「河川法施行細則」，「河川管理規則」，「河川法等の施行に関する規則」等を制定している。

河川法における適用条項を表 8－2 に示す。河川の適正な利用を妨げ，河川及びその付近の自然的および社会的環境を損い，又は河川の管理に支障を及ぼす行為と認められるものについては許可されない。

表 8－2　河川法の適用条項

条　項	内　　容	備　考
法第 23 条	河川の流水の占用	河川区域内での許可事項
法第 24 条	区域内の土地の占用	〃
法第 25 条	土地（土砂を含む）の採取	〃
法第 26 条	工作物の新築，改築又は除去	〃
法第 27 条	土地の掘さく，盛土，又は切土等土地の形状を変更する行為又は竹木の植栽培若しくは伐採	〃
法第 29 条	流水の方向，清潔，流量，幅員，深浅等について河川管理上支障を及ぼすおそれのある行為	〃
法第 55 条	土地の掘さく，盛土，又は切土等土地の形状を変更する行為 工作物の新築又は改築	河川保全区域内での許可事項

また，簡易発電システムを砂防ダムに適用する場合，砂防ダムは河川砂防技術基準（案）に準拠しているにも関わらず，河川管理施設等構造令において河川構造物扱いとなる場合もある。

(3) その他関連法令

簡易発電システムの設置場所によって，土地の取得，改変，環境等に対する許可事項の関連法令がある。

【解説】

関係法令には，以下のものがある。これらは，設置場所により適用される関連法令が異なるため，設置場所に関する法令調査を実施して適用法令を確認する。

土地収用法，自然公園法，自然環境保全法

鳥獣及び狩猟に関する法律，文化財保護法，農地法

農業振興地域の整備に関する法律，森林法，国有林法，水産資源法

国土利用計画法，国有財産法，建築基準法，砂防法

地すべり等防止法，採石法，消防法，道路法　他

８．１．２　関係技術基準・規程

(4) 発電用水力設備に関する技術基準を定める省令

a 技術基準の概要

電気事業法に基づく技術基準は，公共の安全確保および電気の安定供給の観点から電気工作物の設計，工事および維持に関して遵守すべき基準である。

『発電用水力設備に関する技術基準を定める省令』は，水力を原動力として電気を発生するために施設する電気工作物について適用する。

【解説】

近年では，急速な技術進歩に即応した技術基準の改正や民間規格の積極的な活用により，電気工作物の保安確保は勿論，それに関わる業務および設備の一層の効率化が求められるようになった。また，国境を超えた経済の発展により，各国の規格についても国際的な整合(注)が求められるようになってきた。

このような状況を踏まえ，電気事業法の経済産業省令である『発電用水力設備に関する技術基準を定める省令』（以下，「水技」という。）は平成９年３月に改正公布され，同年６月から施行された。

本改正により，それまで遵守すべき技術的要件を詳細に規定していた技術基準が保安上達成すべき目標，性能のみを規定する機能性化された基準となり，それに対応した技術的要件を満たす具体的内容の資機材，施工方法等の規定は，同年５月に資源エネルギー庁が制定した『発電用水力設備に関する技術基準の解釈について』（以下，「水技解釈」という。）に委ねられることとなった。

なお，水技解釈は，電気事業法に基づく保安確保上の行政処分を行なう場合の判断基準の具体的内容を示す「審査基準」として位置付けられている（後述する『電気設

備の技術基準の解釈について』も同様に「審査基準」として位置付けられている)。

水技および水技解釈は，ダム，水路，水車および地下発電所並びに貯水池および調整池について，保安上達成すべき目標が記載されている。

(注) 日本工業標準調査会（JISC）では，国際規格「国際標準化機構規格（ISO）および国際電気標準会議規格（IEC)」に日本工業規格（JIS）を可能な限り整合させて制定するため，JIS の様式を国際様式に改め，国際規格をそのまま翻訳して JIS にする翻訳規格や要点のみ日本語で規定し，具体的事項は ISO, IEC そのものを原文のまま参考として採用する要約規格を制定している。

b 一般用電気工作物の明確化

平成 16 年 11 月，一般用電気工作物はその技術基準が明確に整備されていないことから，『発電用水力設備に関する技術基準を定める省令，解釈』で，当該設備の技術基準が新たに導入された。

【解説】

水技では，電気工作物の定義が「一般用電気工作物及び事業用電気工作物」と明確にされ，一般用電気工作物における防護施設，水車保護装置，余水処理についての規定が追加された。

また，水技解釈では，水技の改正を受けて，水車保護装置と余水処理についての具体的一例が示されたが，その内容は現行の事業用電気工作物の規定を読替運用する形で追加された。

(5) 電気設備に関する技術基準を定める省令

『電気設備に関する技術基準を定める省令』は，『発電用水力設備に関する技術基準を定める省令』と同様に電気事業法の経済産業省令であり，平成 9 年 3 月に改正公布され，同年 6 月から施行された。

【解説】

本改正により，それまで遵守すべき技術的要件を詳細に規定していた技術基準が保安上達成すべき目標，性能のみを規定する機能性化された基準となり，それに対応した技術的要件を満たす具体的内容の資機材，施工方法等の規定は，同年 5 月に資源エネルギー庁が制定した『電気設備の技術基準の解釈について』(以下，「電技解釈」という。）に委ねられることとなった。

『電気設備に関する技術基準を定める省令』(以下，「電技」という。)，電技解釈には，電気設備に関わる保安原則（感電・火災等の防止，異常の予防および保護対策，

電気的・磁気的障害の防止，供給支障の防止，公害等の防止），電気の供給のための電気設備の施設および電気使用場所の施設について記載されている。

平成 16 年 10 月には，後述する『系統連系技術要件ガイドライン』の技術要件が電技解釈へ移行され，これは電力品質確保の環境整備として，『電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン』が制定された。

(6) 水門鉄管技術基準

水門鉄管技術基準の水圧鉄管・鉄鋼構造物編は，水力発電設備の安全性の確保および経済性の向上を図るため，全ての水力発電所の水圧鉄管についての設計，施工，据付，管理について規定している。

【解説】

管材については，ロール又はプレス加工による鉄管の他，中小水力開発のコスト低減の趣旨から JIS 規格管およびダクタイル鋳鉄管についても追加されている。

水門鉄管技術基準では，樹脂材として FRP 管の規定があり，簡易発電システムではこれに準じた格好で「一般市販管」として，塩ビ管，ポリエチレン管並びにポリエチレンリブ管の技術基準化を検討した。

(7) その他関連技術規程類

a 系統連系技術要件ガイドライン

(a)ガイドラインの概要

本ガイドラインは，分散型電源の導入促進に資するために，一般電気事業者および卸電気事業者以外の者が設置する発電設備（これらを総称して分散型電源として扱っている）を系統に連系する場合の電力品質確保を示すもので，経済産業省資源エネルギー庁より通達されている。

【解説】

ここでいう発電設備とは，（イ）ディーゼルエンジン，ガスエンジン，ガスタービン等の交流発電設備（電気事業に参入する事業者等の大規模発電設備，コジェネレーション設備，小水力発電設備，常用化して系統連系する非常用発電設備等を含む）および（ロ）太陽光発電，燃料電池等の直流発電設備等であって逆変換装置を用いた発電設備（風力発電，マイクロガスタービン等で，発電設備の交流出力を直流に変換し，逆変換装置を介して系統に連系する場合も含む）をいう。

なお，不特定多数の需要家に電力を供給する配電系統における電圧の運用・管理は，電力が変電所から需要家に一方向に流れることを前提として，重・軽負荷時の電圧降下を勘案しつつ，変電所端電圧調整，柱上変圧器電圧タップ整定および線路途中への

自動電圧調整器の設置等を行ない,系統各部の低圧需要家の電圧を適正値(101±6V,202±20V)に維持している(電気事業法第 26 条,電気事業法施行規則第 44 条)。

したがって,発電設備を系統に連系する場合にも系統電圧を上記の適正範囲内に維持する必要があるため,系統連系に伴い生じる電圧変動により適正電圧維持が困難な場合には,発電設備設置者側で適切な対策を施すとともに,これにより対策できない場合は系統側の増強等を行なう必要がある。

『系統連系技術要件ガイドライン』は,平成 16 年 10 月の法体制整備まで技術要件を含めて規定されていたが,電力品質確保の環境整備として,新たに『電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン』(以下,「系統連系ガイドライン」という。)として改正された。

技術要件については,技術的指標として電技解釈に移行され,今回の法体制整備では,保安の観点から扱うべき事項の明確化と法令準則への反映,電気事業制度改革に伴う分散型電源導入の環境整備を鑑みている。

表 8−3 に電技解釈で規定する系統連系技術要件の概要を示す。簡易発電システムにあっては,その規模(出力 500kW 未満)から,コストダウンが主要目標である。したがって,従来仕様では高圧連系が一般的であったが,コストダウンを考慮した場合,高圧連系設備を省略した低圧連系が主になると考えられる。このため,表 8−3 では特別高圧連系は省略し,低圧連系および高圧連系の 2 つに限って抜粋した。

系統連系の基本的な考え方は,①供給信頼度(停電等)および電力品質(電圧,周波数,力率等)の面で他の需要家に悪影響を及ぼさないこと,②公衆および作業者の安全確保並びに電力供給設備又は他の需要家設備に悪影響を及ぼさないことであり,簡易発電システムにあっても,系統連系する場合は相応の信頼性が求められる。

これにより,簡易発電システムを系統に連系させる場合は,電技解釈と系統連系ガイドラインの両方で規定された要件を満足する必要がある。

表 8−4 は,平成 16 年 10 月の法体制整備を受けて,その規定内容を項目毎に電技解釈と系統連系ガイドラインで区分けして整理したものである。技術要件は電技解釈,電力品質は系統連系ガイドラインによるが,項目によっては両方で規定されているものもある。

表 8－3　系統連系技術要件の概要

連系区分		低圧連系				高圧連系			
電　圧		AC600V，DC750V 以下				AC600V，DC750V を超え 7kV 以下			
容　量		50kW 未満				2,000kW 未満			
機器区分		交流発電設備		直流発電設備+逆変換装置		交流発電設備		直流発電設備+逆変換装置	
		同期発電機	誘導発電機	自励式	他励式	同期発電機	誘導発電機	自励式	他励式
技術要件	逆潮流有無	無し (発電出力≦構内負荷，および単独運転が生じないことが条件)		有り／無し		有り／無し			
	発電電圧 異常時の保護	OVR+UVR				OVR+UVR			
	系統短絡保護	DSR (検出できる時は OCR 又は UVR でも可)	UVR(発電電圧異常検出用と兼用可)			DSR	UVR(発電電圧異常検出用と兼用可)		
	系統地絡保護	単独運転検出機能(受動)等 (保護パターン) ①高・低圧混触(地絡)→②高圧 CB ﾄﾘｯﾌﾟ(OVGR 等)→③発電機単独運転→④単独運転を高速に検出して発電機を解列 (交流発電機の場合，上記条件を満足できるのは逆潮流がないこと，受動方式の採用が条件)				OVGR (OVGR を省略できる技術要件①～②が追加)			
	単独運転防止	UFR+UPR+RPR (RPR は系統地絡保護用単独運転検出機能(受動)で代用可) (UPR は発電出力制御により，発電出力≦構内負荷を常に確保できる場合は RPR で代用可)		逆潮流有り OFR+UFR+単独運転検出機能(受動+能動) 逆潮流無し UFR+RPR+逆充電検出機能(UVR+UPR) (逆潮流有りの保護装置でも可)		逆潮流有り OFR+UFR+転送遮断装置 (又は，単独運転検出機能を有する装置) 逆潮流無し UFR+RPR (逆潮流有りの保護装置でも可)		逆潮流有り OFR+UFR+単独運転検出機能(受動+能動) 逆潮流無し UFR+RPR (逆潮流有りの保護装置でも可) (構内で低圧連系する発電設備で，出力容量≦受電容量の場合は，RPR を省略可)	
	自動負荷 制限･発電抑制	不要				発電設備の脱落時に電線路が過負荷となる恐れがある時，負荷制限を行う			
	線路無電圧 確認装置	不要				逆潮流有り 要(※不要) 逆潮流無し 要(連系保護装置の二重化により省略可) (誘導発電機は要，コンデンサによる自己励磁現象のため)		逆潮流有り 不要 逆潮流無し 要(逆潮流有りの連系保護装置を設置する場合不要)	
	常時電圧 変動対策	力率による制限		力率制限+電圧上昇抑制機能		力率による制限			
	瞬時電圧 変動対策	自動同期検定装置，制動巻線	(限流ﾘｱｸﾄﾙ等) フリッカ対策	自動同期検定装置，制動巻線	(限流ﾘｱｸﾄﾙ等) フリッカ対策	自動同期検定装置	(限流ﾘｱｸﾄﾙ等)	自動的に同期が取れる機能	(限流ﾘｱｸﾄﾙ等)
	短絡容量対策	要(限流ﾘｱｸﾄﾙ)		不要		要		不要(大容量のものは要)	
	その他	－				※二方式以上の単独運転検出機能を有する装置設置の場合			

OVR：過電圧継電器，UVR：不足電圧継電器，DSR：短絡方向継電器，OVGR：地絡過電圧継電器，OCR：過電流継電器，OFR：周波数上昇継電器，UFR：周波数低下継電器，UPR：不足電力継電器，RPR：逆電力継電器

表 8－4　系統連系技術要件の比較区分表

「電気設備の技術基準の解釈について（電技解釈）」と「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン（系統連系ガイドライン）」との比較表

	項目	低圧連系		高圧連系		摘要
		電技解釈	系統連系ガイドライン	電技解釈	系統連系ガイドライン	
（旧）系統連系技術要件ガイドライン（解説）項目	電気方式		○		○	連系する系統の電気方式と同一
	力率		○		○	原則85%以上、系統から見て進み力率
	保護協調の目的	○ 第276条、別表第22 （系統連系用保護装置の施設）		○ 第281条、別表第23 （系統連系用保護装置の施設）		
	保護装置の設置					
	保護継電器の設置場所					
	解列箇所					
	保護継電器の設置場所設置相数					
	自動負荷制限			○ 第277条 （自動負荷制限の実施）	○	
	線路無電圧確認装置の設置			○ 第278条 （再閉路時の事故防止）		
	逆潮流の制限(配電用変電所)			○ 第279条 （逆潮流の制限）	○	
	変圧器	○ 第273条 （直流流出防止変圧器の施設）		○ 第273条 （直流流出防止変圧器の施設）		
	電圧変動		○ (1)常時電圧変動対策 (2)瞬時電圧変動対策		○ (1)常時電圧変動対策 (2)瞬時電圧変動対策	常時電圧の10%以内
	短絡容量	○ 第275条 （限流リアクトル等の設置）		○ 第280条 （限流リアクトル等の設置）		
	不要解列の防止		○		○	
	連絡体制			○ 第153条第1項第九号 （電力保安通信用電話設備）	○	
上記以外	過電流遮断器の種別	○ 第274条		○ 第274条		
	高圧配電線との連系における例外			○ 第282条		発電設備等の出力が極めて小さいときは、 低圧配電線との連系に準ずることができる
	連系区分(電力容量)		○ 50kW未満		○ 2,000kW未満	原則
	連系区分(逆潮流)	○ 逆変換装置がなく、逆潮流ありでの 連系不可(別表第22)	○ 同期発電機、誘導発電機の連系 (逆変換装置を介する連系を除く) は、原則として逆潮流なし			

（適用範囲）
電技解釈　：一般電気事業者及び卸電気事業者以外の者が一般電気事業者が運用する系統に発電設備等を連系する場合
系統連系ガイドライン　：一般電気事業者がその供給区域内で設置する発電設備等以外の発電設備等を系統と連系する場合

電技解釈と系統連系ガイドラインの両方で規定されている項目のうち，低圧連系においては，連系区分（逆潮流）がある。電技解釈では別表の中で，「逆変換装置がなく，逆潮流ありでの連系不可」とあり，系統連系ガイドラインでは「同期発電機，誘導発電機の連系（逆変換装置を介する連系を除く）は，原則として逆潮流なし」とある。電技解釈は設備の一例を具体的に示すものであるが，「不可」では代替させる方法がないため，低圧連系で逆潮流ありの場合は逆変換装置が必要となる。

高圧連系では自動負荷制限，逆潮流の制限（配電用変電所），連絡体制が両方で規定されている。また，電技解釈では，高圧配電線との連系における例外として，「発電設備等の出力が極めて小さいときは，低圧配電線との連系に準ずることができる」とし，電技解釈で規定する系統連系用保護装置の施設，限流リアクトル等の設置が低圧連系に準ずるほか，自動負荷制限，線路無電圧確認装置の設置，逆潮流の制限（配電用変電所）が適用対象外となる。

ここで，「出力が極めて小さいとき」の取扱いについては，解説の中で「発電設備等の出力が工場等の受電契約電力に対して，5%程度以下であることが一般的な目安」とされている。

(b)単独運転防止の目的

単独運転防止は，『電気設備の技術基準の解釈について』および『電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン』，また，その内容をより具体的に示したJEAC9701-2006『系統連系規程』の中で，公衆保安の確保や二次的な被害拡大防止を目的にしている。

【解説】

単独運転になった場合は一般公衆の感電，点検作業員の感電，非同期連系により機器破損等の安全に対して大きな影響を与える恐れがあるとともに，事故点の被害拡大や事故復旧の遅れ等により供給支障の拡大を招く可能性があることから，系統事故や作業時における単独運転は確実に防止することが原則とされている。

単独運転とは，発電設備が連系する系統やその上位系統において，事故が発生して系統の引出口遮断器が開放された場合，若しくは作業時又は火災等の緊急時に線路途中に設置されている開閉装置等が開放した場合等に，発電設備が系統から解列されず，商用電源から分離された部分系統内で運転を継続すると，本来，無電圧であるべき範囲が充電されることになり，発電設備の運転によって生ずる電力供給のみだけで当該系統に電気が通じている状態である。

JEAC 規程では，単独運転に至った場合に保護継電装置等を用いてこれを直接又は間接的に検出し，当該発電設備を当該系統から解列できるような単独運転防止対策を取ることとしている。

図 8－4 は事故点に電気が供給され続ける例を示したものである。単独運転検出機能がないと，低圧側では高圧側の事故が検出できない場合がある。このため，高圧系統で地絡事故等が発生した場合，低圧側に連系している発電設備では直接地絡事故を検出できないことから，単独運転が継続され，事故点に電気が供給され続ける。

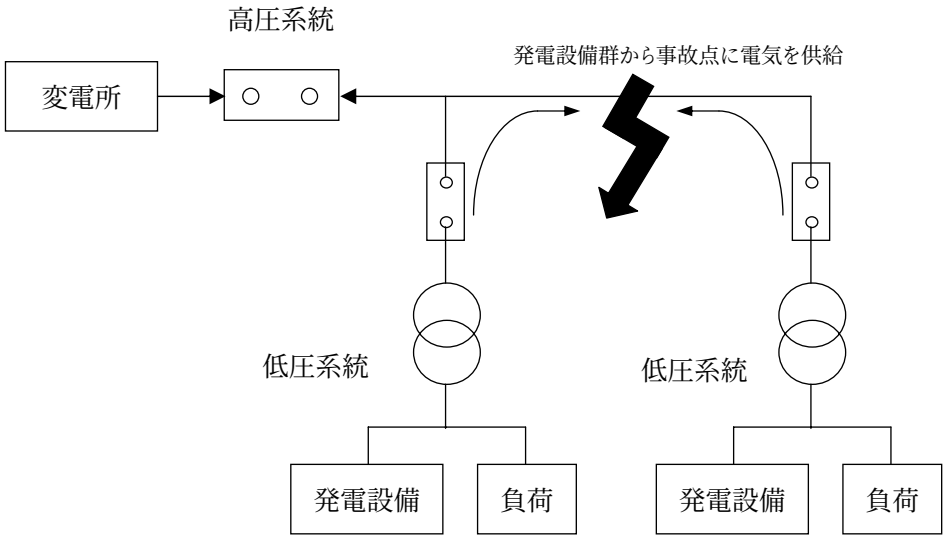


図 8－4　事故点に電気が供給され続ける例

単独運転を認めるケースは，特別高圧電線路で連系している発電設備の出力容量が大規模であり，発電設備を一定の供給力と見込んでいることや，単独運転になっても電圧，周波数が変動せず，適正な電圧，周波数が維持できる場合としている。

JEAC 規程にもとづけば，簡易発電システムにおいて，単独運転検出装置は必須であり，系統連系する一般電気事業者又は卸電気事業者からも設置の義務付けは強く要望されると考えられる。なお，逆潮流のない連系の場合には，逆電力継電器等による逆潮流検出で単独運転検出が可能であるが，逆潮流がある連系の場合は連系遮断器開放の情報による転送遮断装置を設置するか，単独運転検出機能を有する装置の設置となる。

この単独運転検出機能を有する装置は，検出原理から受動方式と能動方式に大別され，それぞれ多種の方式が実用化されている傾向にあり，発電機種類による機器仕様，逆潮流有無，運転状況等を考慮した装置選択が必要である。

b 電気技術規程・指針（民間規程・指針）

技術基準は，電気事業法に基づき，電気工作物の保安確保のために必要な最小限度の規制を目的とする維持基準である。電気技術規程・指針は，この技術基準を運用・補完する民間自主規格である。

【解説】

発電所建設時における細部の材料，設計，施工，検査等の技術的な事項について法令を補完するとともに新技術の開発および社会情勢の変化に遅滞なく追従し得るような民間規程があれば，法定の技術基準と表裏一体をなして保安確保に万全を期すことが可能となる。

『電気技術規程（発変電規程，系統連系規程等)』は，法定の技術基準を補完するものとして維持規程，工事規程，検査規程等に細分され，運用にあたってのサービスレベル等を含めた内容となっている。

一方，『電気技術指針（高調波抑制対策技術指針等)』は，今後，改良が期待される新技術に関することや保安上「規程」として制定することが必要と考えられるが，研究開発課題である事項等一律に定めることが困難，又は不適当な数多くの事項がある場合の技術的内容を取り扱っている。

例えば，以下のような場合が挙げられる。

① 新技術に関する事項で「規程」とするためには，諸外国の事例を含めて実績，実例が少ない場合

② 保安上必要な事項であるが，その方法，対策等について学説，方法論が必ずしも確立していないため，広く一般に適用するものとして「規程」とすることが困難な場合

③ 未解決，未確定な研究開発課題が含まれる事項がある場合

④ 社会情勢が急激に変化し，「規程」とすることが必ずしも適当でない場合

『電気技術指針』は，原則的に『電気技術規程』に準じて遵守されることが望ましいが，以下の事項に留意して運用することが必要である。

① 実運用にあたって，技術の進歩を阻害することのないよう解釈すべきであること

② 内容を充分理解して，設計，施工等に際して誤りのないようにすること

③ この指針に記載されていない事項，方法等であっても，それが保安上適切なものである場合は採用することができること

なお，電気技術規程・指針の中には法令規制を受けない（技術基準に規定されていない）自主規程が含まれている。この自主規程は，委員会から国の基準等（又は技術基準の解釈等）へ引用要請する場合の他は，これを根拠に国の基準等に引用されることはない。

８．１．３　機器簡素化による合理化と関係法令・基準等

簡易発電システムにおいて，電気機械設備の主要機器である水車，発電機および制御・保護装置は全体に占める価格比率が大きいことから，機器仕様を簡素化することによる合理化によって，イニシャルコストダウンを図る。

ただし，機器仕様の簡素化は，関係法令・基準等との関係整理が必要である。

【解説】

機器の合理化にあたっては，機能維持を求めるのと同様に，保安の観点から関係する法令・基準等（「水技」，「水技解釈」，「電技」，「電技解釈」，「系統連系ガイドライン」等）の遵守および事業者としての自主保安，自己責任を認識する必要がある。

ここでは，機器の合理化が期待でき，既に巻末資料に示す開発事例調査（モニタリング調査）結果から実用化されている入口弁，調速装置，保護装置の省略・簡素化を例に，関係する法令・基準との関わりについて整理した。

(1) 入口弁の省略・簡素化

入口弁は水路設備と密接に関係し，関係法令である「発電用水力設備に関する技術基準を定める省令，解釈」により，その設置について規定されていることから，単純にイニシャルコストダウンの目的だけで省略できない。

【解説】

関係法令からは，水路又は水車のいずれかに最低限何かしらの止水設備が必要であり，取水設備にゲート等の止水設備を設ける場合は入口弁が省略できる。

止水設備は水路内点検のための抜水，水車廻り点検のための抜水等，メンテナンス方法にも影響することから，土木設備と水車設備の協調が取れた計画設計の中でコストダウンを図る必要がある。

入口弁を設置する場合，通常の入口弁は始動・停止時に電動サーボモータ又は圧油装置を用いた自動開閉装置を有しているものが一般的であるが，簡易発電システムでは始動・停止頻度が少ないと想定されるため，自動開閉装置を手動開閉，非常時は重錘により閉とする簡素化入口弁の採用がコストダウンに資する。

入口弁等の省略に抵触する関係法令・基準等は，水技第 34 条および水技解釈第 38 条である。これは「水車および揚水用のポンプ」を対象としており，その強度および保護，付帯設備（圧油装置，圧縮空気装置）についての技術的要件を規定したものであり，この中でも水技第 34 条第 1 項第五号，水技解釈第 38 条の全てが該当する。

表 8－5 は，これら条文を水車に限って抜粋したものである。

表 8－5　入口弁等省略に関わる省令，解釈

発電用水力設備に関する技術基準を定める省令
(第 34 条)　水車及び揚水用のポンプ（以下，水車に限定して抜粋） 水車は次の各号により施設しなければならない。 五　水の流入を迅速に遮断する施設を水車に設けること。ただし，当該施設を水路に設ける場合または水車の無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全であり，かつ，この間の下流への放流により人体に危害を及ぼし，若しくは物件に損傷を与えるおそれのない場合はこの限りでない。
発電用水力設備の技術基準の解釈について
(第 38 条)　水の流入または流出を遮断する施設（以下，水車に限定して抜粋） 省令第 34 条第 1 項第五項に規定する，水の流入を迅速に遮断する施設とは，次の各号に掲げるもののいずれかである。 一　水車に設ける場合にあっては，非常時に閉鎖する機能を有するガイドベーンまたはニードル若しくは流水遮断能力を有する入口弁 二　水路に設ける場合にあっては，非常用閉鎖装置を有する取水設備，ヘッドタンクまたはサージタンクの制水門 2 水車の無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全である場合の放流及びデフレクタ放流を行う場合は，水路または水車のいずれかに放流を止める施設を有すること。

【水技省令第 34 条】

水車には「水の流入を迅速に遮断する施設」を義務付けているが，①当該施設を水路に設ける場合，②水車の無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全であり，かつ，この間の下流域への放流により人体に危害を及ぼし，若しくは物件に損傷を与える恐れのない場合のいずれかに該当すれば，「水の流入を迅速に遮断する施設」は必要ないとしている。

【水技解釈第 38 条】

第 1 項では水技省令第 34 条に規定した「水の流入を迅速に遮断する施設」を具体的に掲げている。この中で「非常時に閉鎖する機能を有する…」，「非常用閉鎖装置を有する…」は，操作油、操作電源喪失時に機械的に閉鎖する機能を有する装置等の確保により，確実に水の流入を遮断する施設義務を規定している。

第 2 項では水技省令第 34 条のただし書き以降で除外した「水の流入を迅速に遮断する施設」は必要ないものの，水車の無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全である場合の放流およびデフレクタ放流を行う場合は，水路又は水車のいずれかに「放流を止める施設」を義務付けている。

以上から，水路又は水車のいずれかに最低限何かしらの止水設備が一つ必要であり，関係法令上から，止水設備を全く省略することはできない。

図 8－5 は，これら省令等をフロー形式に整理したものである。止水設備は水路内点検のための抜水，水車廻り点検のための抜水等，メンテナンスの際に必要となる設備であり，現実的には止水設備を全て省略することは計画しない。このため，水車形式

は何か，適用施設での条件は何か，止水設備を水路側に設けるのか水車側に設けるのか等，条件に応じた計画設計が必要である。

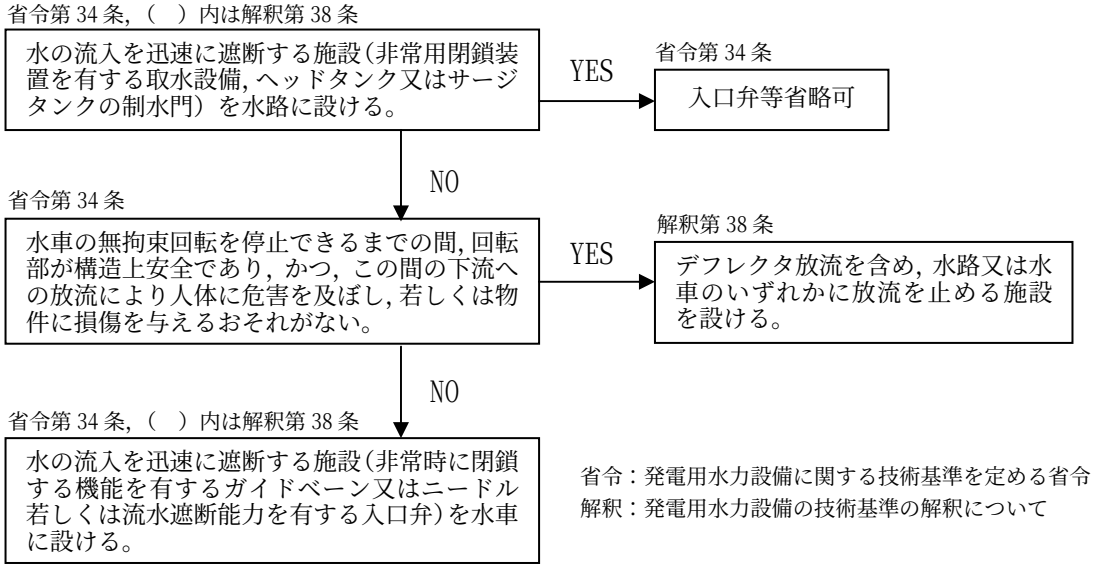


図 8－5　入口弁等省略に関わる省令等フロー

また，止水設備の緩和条件である水技省令第 34 条のただし書き以降「…無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全であり…」は，水車に限定されず，主軸又はギヤ，ベルトで連結される発電機にも適用されるため，簡易発電システムに適用可能としている永久磁石発電機等は水力での事例が少ないため，その設計条件を明確にする必要がある。このため，無拘束回転に耐えられない標準品を適用する場合には，関係法令通り「水の流入を迅速に遮断する施設」を設けるか，無拘束回転時に水車から発電機を切り離す機構等を検討する必要がある。

水技省令第 34 条第 2 項には，水車の保護に関する内容が規定されているが，簡易発電システムでは，出力 500kW 未満を対象としており，殆ど該当しないと思われる。

表 8－6 に水技省令第 34 条第 2 項の内容を示す。

表 8－6　水車の保護に関する規定

発電用水力設備に関する技術基準を定める省令
(第 34 条)　水車及び揚水用のポンプ（以下，水車に限定して抜粋） 2 水車には，発電機の容量が 500kVA 未満の場合を除き，運転中に生じた過回転その他の異常による危害の発生を防止するため，その異常が発生した場合に水車を自動的かつ確実に停止する装置を設けなければならない。

(2) 調速装置の省略・簡素化

発電機の種類により，回転速度を一定に制御するガイドベーン又はニードル，アクチュエータおよびこれらの制御装置全てを省略し，保守費用の軽減を図る。

【解説】

調速装置の省略可否は，入口弁のように直接抵触する関係法令はないが，第４章「電気機械設備」の「４．５　コストダウンの要素」で具体的に触れたように，同期発電機では系統並列させるための流量・速度調整が必要になるため，基本的には省略できない。ただし，発電機に永久磁石発電機を採用する場合は，逆変換装置による速度制御が可能なため，調速装置の省略可否は運転制御方式による判断が必要である。

(3) システムの違いによる合理化時の課題とその対策

a 入口弁，調速装置の省略

入口弁および調速装置を省略した場合の課題とその対策を，従来形システムと可変速システムに区分して整理し，その特質から省略可否を判断する。

【解説】

ここで，可変速システムとは落差や流量の変化により，水車，発電機の速度変化が生じても商用周波電源を系統や単独負荷に供給可能なシステムを指す。

表 8−7 は，システムの違いによる合理化時の課題とその対策を示したものである。入口弁省略時の課題とその対策については，従来形又は可変速のシステムの違いによって変わる要素はない。原則として，電技解釈に規定された条件を満足していれば省略できる。

表 8－7　システムの違いによる合理化時の検討

比較項目 ＼ 簡易発電システム		従来形システム ・誘導発電機システム ・同期発電機システム	可変速システム ※簡易発電システムにおける可変速システムとは，落差や流量の変化により，主機の速度変化が生じても，商用周波電源を系統や単独負荷に供給可能なシステムを指す。 • 永久磁石発電機システム • 直流発電機システム
入口弁	入口弁省略可否 入口弁を省略した場合の課題およびその対策	下記条件のいずれかを満足すれば可能である。 ・非常時に閉鎖する機能を有するガイドベーン又はニードルを水車に設ける場合 ・非常用閉鎖装置を有する取水設備，ヘッドタンク又はサージタンクの制水門を水路に設ける場合 ただし，水車の無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全であり，かつ，この間の下流への放流により人体に危害を及ぼし，若しくは物件に損傷を与える恐れがない場合は，デフレクタ放流を含め，水路又は水車のいずれかに放流を止める施設を有する必要がある。←最低限何かしらの止水設備が一つ必要になる。	下記条件のいずれかを満足すれば可能である。 ・非常時に閉鎖する機能を有するガイドベーン又はニードルを水車に設ける場合 ・非常用閉鎖装置を有する取水設備，ヘッドタンク又はサージタンクの制水門を水路に設ける場合 ただし，水車の無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全であり，かつ，この間の下流への放流により人体に危害を及ぼし，若しくは物件に損傷を与える恐れがない場合は，デフレクタ放流を含め，水路又は水車のいずれかに放流を止める施設を有する必要がある。←最低限何かしらの止水設備が一つ必要になる。
	簡素化入口弁 （手動：開，重錘：閉） の採用可否	迅速に流水を遮断する性能を有する場合は法的条件を満足するが，この性能を有さない場合は，水車の無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全である場合に採用可である。なお，主機始動時は保守員が現場で主機を始動させる必要がある。	迅速に流水を遮断する性能を有する場合は法的条件を満足するが，この性能を有さない場合は，水車の無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全である場合に採用可である。なお，主機始動時は保守員が現場で主機を始動させる必要がある。
調速装置 ※ここで，調速装置はガイドベーン又はニードル，アクチュエータ及びこれらの制御装置を含む。	調速装置省略可否	同期発電機は不可（定速運転させる必要があるため），誘導発電機は可である。	可である。
	調速装置を省略した場合の課題およびその対策	1．速度制御 入口弁等による代替も考えられるが，調速装置のように，きめ細やかな速度制御は期待できないため，現実的でない。入口弁等は始動時に流量調整を行う場合に限る。調速装置を省略する場合，誘導発電機の採用となる。 2．系統並列方法 入口弁等による揃速により，系統並列を行う。ただし，入口弁等では完全な同期速度に調整することは難しいため，同期速度を基準とした速度範囲内（例えば，同期速度の±10%以内等）で系統並列させる。 3．負荷調整 単独負荷への電源供給の場合は，ダミーロード等を用いて，きめ細かな負荷調整を行う。この場合，同期発電機の採用となる。	1．系統並列方法 入口弁等の開度が約 10%のところで，逆変換装置より系統側又は単独負荷側へ定格周波数および電圧が発生する。電圧が定格電圧になったところで，自動又は手動により系統並列する。 2．水車，発電機運転制御 水車，発電機は，運転時の落差および流量により回転速度が決定されるため，水車，発電機から発生した電力の周波数および電圧は，回転速度にほぼ比例して変動する。 水車，発電機から発生した電力は，逆変換装置により商用周波数に変換されるため，逆変換装置から出力される電力の周波数は商用周波数となる。 電圧は系統並列の場合，系統電圧によりほぼ一定となるが，単独負荷への電力供給の場合は水車，発電機の回転速度の変化により，電圧変動が発生する。 3．負荷調整 単独負荷への電源供給の場合は，回転速度制御（軽負荷時は高回転速度，重負荷時は低回転速度）により，きめ細かな負荷調整を行う。ただし，必要によりダミーロードを設置し，過回転を抑制する。 4．並列用遮断器解列時 事故等により並列用遮断器の解列で無負荷になり，回転速度が上昇した際に，発電機回路電圧が上昇する。その対策としては，以下が考えられる。 1）発電機保護 水車から発電機への機械入力伝達を切り離す。例えば，ベルト伝達であれば過速度でベルトが外れるようにする，ギアであればクラッチで切り離す。 2）逆変換装置素子 逆変換装置素子の耐電圧を考慮する必要がある。また，逆変換装置素子をマグネットスイッチ等より，回路から切り離す方法も考えられる。
特質検討	入口弁省略可否	○（法的条件有り）	○（法的条件有り）
	簡素化入口弁の採用可否	○（法的条件有り）	○（法的条件有り）
	調速装置省略可否	△（同期発電機は不可，誘導発電機は可）	◎
	主機や逆変換装置の耐電圧考慮要否	○（通常仕様通り必要）	△（通常仕様よりも考慮要）
	軸受構造への考慮要否	○（通常の考慮要）	△（通常以上の考慮要）

調速装置の省略は，従来形又は可変速のシステムの違いによって，大きな違いがある。従来形システムの同期発電機では速度一定制御のために調速装置の省略が不可能であるのに対し，可変速システムは，逆変換装置による調速度制御が可能であり，省略されることに大きなメリットがある。なお，運転時の落差や流量により回転速度が決定されるため，回転速度が不規則であり，電気的（主機や逆変換装置の耐電圧等）にも機械的（軸受構造等）にも，通常以上の考慮が必要になる。

従来形システムでも，誘導発電機であれば調速装置は省略可能であるが，水車形式により，ガイドベーン等の流量調整機能がある場合は省略できない。

また，調速装置を省略する場合は，水車始動時の入口弁等による流量調整を行う必要があり，入口弁等を省略することができない。なお，調速装置があって，入口弁を省略した例は多い。

このように，水車形式および発電機種類，運転条件等により機器簡素化による合理化が可能な要素が変化することから，簡易発電システムにおける合理化策の検討にあたっては，その特質を睨んで仕様検討する必要がある。

b 入口弁の簡素化

簡易発電システムで入口弁を設置する場合は，機器簡素化による合理化の観点から，関係法令を満足した重錘閉鎖装置付入口弁を採用する。

【解説】

表 8－7 に記載ある簡素化入口弁（重錘閉鎖装置付入口弁）は，電動サーボ等による操作機構，制御装置からの開閉操作指令を省略し，開操作は手動，閉操作は手動又は重錘による自重とした簡素化を図ったものである。巻末資料に示す開発事例調査（モニタリング調査）でも，数箇所の発電所で実用化されていた。

その具体的事例，操作機構を図 8－6 に示す（大分県中津江村鯛生発電所）。

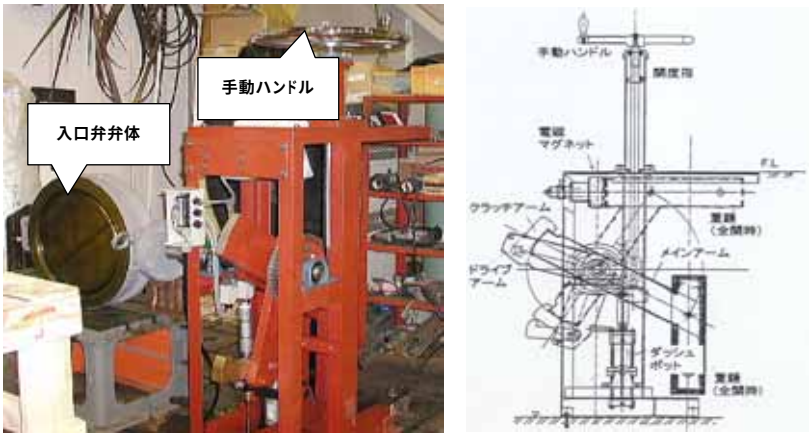


図 8－6　重錘閉鎖装置付入口弁

操作方法，動作は以下のとおり。

①入口弁開は手動ハンドルにより操作し，合せてメインアーム重錘を引き上げる。

②入口弁閉（停止又は事故時）は，メインアーム重錘が自重で下がることにより操作され，その速度はダッシュポットで制限される。

入口弁本体が迅速に流水を遮断する性能がある場合は，前述した水技解釈の法的条件を満足しているが，この性能がない場合は，水車の無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全である場合に採用可能である。

(4) 保護装置

保護装置に関わる『電気設備に関する技術基準を定める省令，解釈』には，省令第 46 条および解釈第 51 条がある。これは「常時監視をしない発電所等の施設」として，発電所の規模と随時巡回，随時監視，遠隔常時監視の区分毎に施設すべき保護装置等の技術的要件を規定している。

【解説】

表 8－8 は，電技第 46 条および電技解釈第 51 条のうち，水力発電所に限って抜粋したものである。簡易発電システムにおいては，出力 500kW 未満を対象としており，電気の供給に与える影響が小さいと考えられることから，原則として電技解釈第 51 条第 1 項第一号の「随時巡回方式」の適用が一般的となる。

【電技第 46 条】

第 1 項では発電所の常時監視を原則として義務付けているが，第 2 項で異常が生じた場合に安全かつ確実に停止することができるような措置を講じれば，常時監視をしない発電所を認めている。つまり，保護装置の設置義務である。

【電技解釈第 51 条】

省令第 2 項で規定した「異常が生じた場合に安全かつ確実に停止することができるような措置」を具体的に掲げ，監視方式区分毎に表形式で保護装置等の設置を義務付けている。監視方式は随時巡回，随時監視，遠隔常時監視の 3 つに区分されるが，水力発電所においては，監視区分に関係なく施設すべき保護要素は同じである。

表 8－8　保護装置に関わる技術基準

電気設備に関する技術基準を定める省令
(第 46 条) 常時監視をしない発電所等の施設（以下，発電所に限定して抜粋） 異常が生じた場合に人体に危害を及ぼし，若しくは物件に損傷を与えるおそれがないよう，異常の状態に応じた制御が必要となる発電所，または一般電気事業に関わる電気の供給に著しい支障を及ぼすおそれがないよう，異常を早期に発見する必要のある発電所であって，発電所の運転に必要な知識及び技能を有する者が当該発電所またはこれと同一の構内において常時監視をしないものは施設してはならない。 2 前項に掲げる発電所以外の発電所であって，発電所の運転に必要な知識及び技能を有する者が当該発電所若しくはこれと同一の構内において常時監視をしない発電所は，非常用予備電源を除き，異常が生じた場合に安全かつ確実に停止することができるような措置を講じなければならない。
電気設備の技術基準の解釈について
(第 51 条) 常時監視をしない発電所等の施設（以下，水力発電所に限定して抜粋） 発電所の運転に必要な知識及び技能を有する者（以下，この条において「技術員」という）が，当該発電所またはこれと同一の構内において常時監視しない水力発電所は異常が生じた場合に安全かつ確実に停止できるように，次の各号により施設すること。 一　原動機及び発電機に自動負荷調整装置または負荷制限装置を施設する水力発電所（水車への流入量が固定され，自ら出力が制限される場合はこの限りでない）であって，電気の供給に支障を及ぼさず，かつ，技術員が随時巡回する場合は，表に掲げる必要な措置を施設すること。ただし，出力 2,000kW 未満のものに限る。 二　原動機及び発電機に自動負荷調整装置または負荷制限装置を施設する水力発電所（水車への流入量が固定され，自ら出力が制限される場合はこの限りでない）であって，当該発電所またはその構外にある技術員駐在所のいずれかに技術員が常時駐在する場合（前号に掲げるものを除く）は，表に掲げる必要な措置を施設すること。 三　当該発電所を遠隔監視制御する制御所（「発電制御所」という）に技術員が常時駐在する場合は，表に掲げる必要な措置を施設すること。

表 8－9 は，水力発電所において施設が義務付けられている保護装置を抜粋したものである。簡易発電システムにおいては，出力 500kW 未満を対象としており，表中網掛部の保護装置を設置しなければならない。

なお，水技第 34 条第 2 項との関連で，水車を自動的に停止させる装置の施設が必要ないのは，水技では「発電機容量 500kVA 未満」のみの規定であるのに対し，電技解釈では「無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全であり，かつ，この間の下流への放流により人体に危害を及ぼし又は物件に損傷を与えるおそれがない場合」とする条件が追加されている（二重に規定しない取扱い）。

表 8－9　保護装置の施設義務（水力発電所に限定して抜粋）

一	次に掲げる場合に発電機を電路から自動的に遮断し，かつ，水車を自動的に停止する装置を施設すること。ただし，イ，ロ又はハの場合に無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全であり，かつ，この間の下流への放流により人体に危害を及ぼし又は物件に損傷を与えるおそれのない場合はイ，ロ又はハの場合に，ハの場合に発電機を自動的に無負荷かつ無励磁にする装置を施設する場合はハの場合に，水車のスラスト軸受が構造上過熱のおそれがない場合はニの場合に，水車を自動的に停止させる装置の施設は要しない。
イ	原動機制御用圧油装置の油圧，圧縮空気装置の空気圧又は電動式制御装置の電源電圧が著しく低下した場合
ロ	原動機の回転速度が著しく上昇した場合
ハ	発電機に過電流が生じた場合
ニ	定格出力が 500kW 以上の原動機又はその発電機の軸受の温度が著しく上昇した場合
ホ	容量が 2,000kVA 以上の発電機の内部に故障を生じた場合

□部分が小水力発電で該当する項目
（水技第 34 条第 2 項との関連）
水車を自動的に停止させる装置の施設有無で，水技では発電機容量 500kVA 未満のみの規定であるが，電技解釈では「無拘束回転を停止できるまでの間，回転部が構造上安全であり，かつ，この間の下流への放流により人体に危害を及ぼし又は物件に損傷を与えるおそれがない場合」としており，結果，両者を満足しなければ水車を自動的に停止させる装置の施設が必要となる。

(5) 単独運転検出装置

一般電気事業者および卸電気事業者以外の者が，発電設備等を電力系統に連系する場合，逆変換装置の有無および逆潮流の有無に応じ，異常時に発電設備等を解列するための装置として，単独運転検出装置を設置する。

【解説】

低圧連系の場合，電技解釈第 276 条により，別表第 22 から逆変換装置有りでは逆潮流有無に関わらず「受動的方式および能動的方式のそれぞれ 1 方式以上」と規定されている。ただし，逆潮流なしの場合は不足電圧および不足電力検出機能を組合せた逆充電検出機能を有する装置で代替できる。

一方，逆変換装置なしでは逆潮流無しの場合に限り，「受動的方式」と規定されている。低圧連系では，逆変換装置がない場合に逆潮流ありの条件で発電設備等を電力系統に連系することは不可とされている（なお,電力協議により系統解析の結果から誘導発電機で低圧連系した事例があり，これについては次項で説明する）。

高圧連系の場合は，電技解釈第 281 条により，別表第 23 から逆変換装置の有無に関わらず，逆潮流ありでは「能動的方式 1 方式以上」と規定されている。ただし，転

送遮断装置（専用通信線又は電気通信事業者の専用回線で遮断信号を伝送し，発電設備等を解列するもの）で代替できるが，簡易発電システムにおいては経済性の観点から現実的ではない。

一方，高圧連系で逆潮流なしの場合は，単独運転検出装置は不要であるが，単独運転を検出する逆電力および周波数低下継電器が必要となる。

単独運転検出機能を有する装置は，検出原理から受動方式と能動方式に大別され，それぞれ多種の方式が実用化されている傾向にあり，発電機種類別による機器仕様，逆潮流有無，運転状況等を考慮した装置選択が必要である。

機器簡素化による合理化でコストダウンする観点から，以下により能動的な単独運転検出装置を省略する考え方もあるが，個別検討が必要である。

① 線路事故の多くは二相短絡や一相地絡によるものであり，この場合は電圧，周波数等の三相バランスが崩れるため，周波数継電器や不足電圧継電器動作のみで線路事故を検出するとするもの。この検出方式は多数の実績がある。

② この検出方式における継電器誤動作の場合は，発電機を電路から遮断し，主機を停止とする。

③ この検出方式における課題は，周波数や電圧のバランスが崩れないで線路事故が発生した場合に単独運転検出ができない点にある（頻度としては極めて低いと考えられる）。

また，巻末資料－５に示すモニタリング調査（開発事例調査）の中では，系統連系ガイドラインが施行された（昭和 61 年）以前の発電所において，再開発する場合や発電設備が末端電源である等の理由により，電力協議の結果で単独運転検出装置を設置していない事例も確認された。

このため，単独運転検出装置は系統状況や運用形態，系統シミュレーションの結果等から，電力協議を通じて省略できる可能性がある。

(6) 逆潮流あり低圧連系の逆変換装置省略

『電気設備の技術基準の解釈について』では，「低圧連系の場合，逆変換装置がなく逆潮流ありでの連系は不可」とされているが，最近，家庭用太陽光発電のインバータ技術を応用した単独運転検出技術が開発され，これを用いた「逆潮流あり」での連系が電力協議により認められたケースがある。

【解説】

低圧配電線への系統連系は，その技術要件として，電技解釈第 276 条（別表 22）では，「逆変換装置がなく逆潮流ありでの連系は不可」と規定されている。

この背景として，交流発電機を低圧連系させる場合，逆潮流ありの条件では単独運転検出の技術が未確立な部分もあり，太陽光発電等で実績のある逆変換装置（単独運

転検出機能を有するもの）を使用したものに限定したというものである。

これにより，以下のような制約が考えられる。

① 逆変換装置の価格が，そのまま電気工事費に加算される。

② 逆変換装置の容量は発電機出力に合わせて設計する必要があり，発電出力の増加に伴い，逆変換装置の価格もアップする。

③ 簡易発電システムに適用可能なサイフォン式水車（誘導発電機，始動時に受電して水車をポンプとして水を汲み上げる方式のもの）は使用できない（受電／送電の双方向アクティブインバータを使用する方法もあるが，価格が非常に高く，実際には適用不可である）。

このような状況のもと，2005 年 12 月に京都市嵐山保勝会水力発電所（最大出力 5.5kW）では，新たに開発された低圧用の単独運転検出装置を採用したことにより，逆変換装置を用いない逆潮流ありの条件で低圧連系が認められ運転を開始した。

図 8－11 に単線結線図を示す。これが認められた条件としては，交流発電機を低圧配電線に連系する場合でも，単独運転検出機能保護が確実に検出できることが，シミュレーション等で実証された点にある。

これにより，交流発電機でも逆潮流ありの条件で系統連系できる可能性が広げられた。ただし，今後の普及への課題としては，この単独運転検出装置のコストダウンがキーポイントとなる。

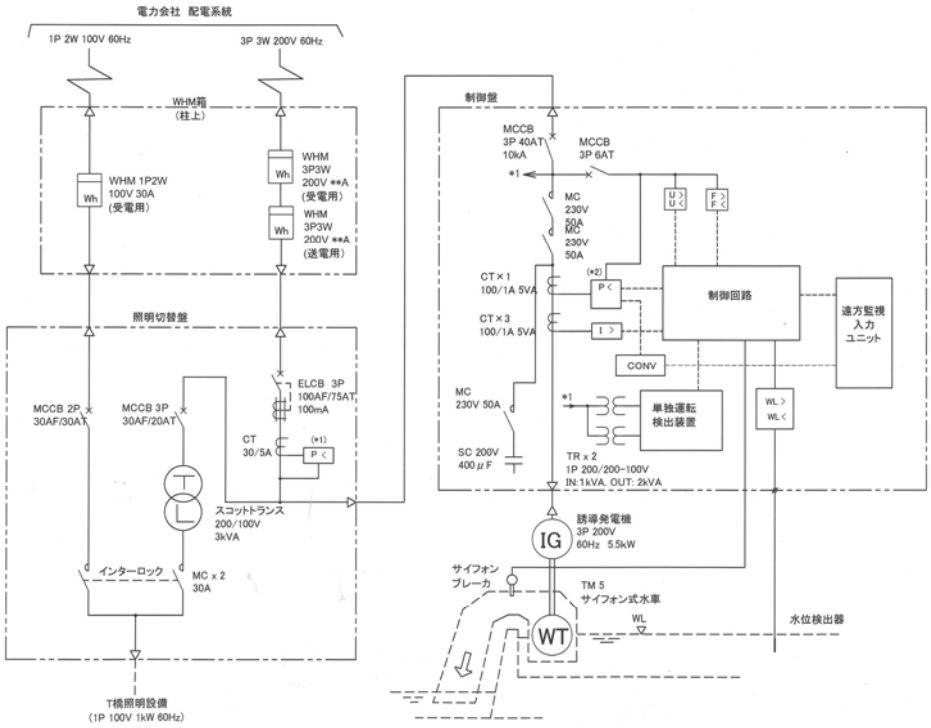


図 8－11　京都市嵐山保勝会水力発電所（最大出力 5.5kW）単線結線図

８．１．４　適用施設別関係法令

(1) 関係法令

適用施設・種類別に適用される関係法令は，自然公園法，砂防法など多岐に渡る。このため，どの法令の制約を受けるのか確認する必要がある。

【解説】

適用施設･種類別に適用される関係法令の主なものについて整理して表 8－10 に示した。適用施設の設置場所によっては，適用のない法令もあるため，個別の検討時はどの法令の制約を受けるかの確認が必要である。

具体的な許可条項の内容は，表 8－11 に示した。

表 8－10　適用施設・種類別に関わる主な法令

適用施設	種類	関係する主な法令													
		自然公園法	自然環境保全法	鳥獣及び狩猟に関する法律	文化財保護法	土地収用法	農地法	農業振興地域の整備に関する法律	森林法	国有林野法	水産資源保護法	砂防法	地すべり等防止法	建築基準法	採石法
河川維持流量等放流設備	高さ15m以上のダム	○		○											
	高さ15m未満のダム	○		○											
砂防ダム	砂防ダム	○	○	○					○	○		○	○		○
農業用水利施設	高さ15m以上のダム	○		○				○							
	取水堰	○					○	○			○			○	
	水路工		○		○	○	○	○						○	
上水道・工業用水利施設及び下水道施設	取水堰	○					○	○			○			○	
	水路工		○		○	○		○						○	

注；上表において，共通である「水技」,「水技解釈」および「河川管理施設等構造令」は記載を省略した。適用施設の設置位置によっては，適用のない法令もあるため，個別の検討時は確認が必要である。

表 8－11　関係法令の許可条項

法　令	条　項	内　容
自然公園法	第 17,18,20 条	特別地域，特別保護地域又は普通地域における工作物設置，立木伐採，河川・湖沼の水位又は水量に増減を及ぼさせることの許可
自然環境保全法	第 17,25,28 条	原生自然環境保全区域内，自然環境保全地区内での行為の許可
鳥獣保護及び狩猟に関する法律	第 8 条	特別鳥獣保護地区での行為の許可
文化財保護法	第 57 条	埋蔵文化財包蔵地内での土木工事の事前届出
土地収用法	第 11,16,47 条	事業準備のための立ち入り許可，認定
農地法	第 4,5 条	農地転用の許可，事前審査申出
農業振興地域の整備に関する法律	第 15 条	農用地区域の除外許可
森林法	第 10,27 条	林地開発の許可，立木伐採の届出，保安林解除
国有林野法	第 7 条	国有林野の伐採許可，売払申請，貸付申請
水産資源保護法	第 18 条	工事の制限等に係る許可
国土利用計画法	第 14,23 条	土地に関する権利の移転等の許可，届出
国有財産法	第 8,20 条	国有財産のこう用の廃止願い，処分等の許可
砂防法	第 4 条	砂防指定地における行為の許可
地すべり等防止法	第 18 条	地すべり防止区域内での行為の許可制
建築基準法		建築物確認申請
農山漁村電気導入促進法	第 3,6,12 条	全国農山漁村電気導入計画に繰り入れのこと 事業計画書の提出，電気事業法との関係

(2) 関連する基準等

簡易発電システムを適用する土木設備に関する各技術基準および条項等を抽出・整理し，個別の検討時に該当有無を確認する必要がある。

【解説】

以下に，抽出した技術基準等について示す。

共　　通：　発電用水力設備に関する技術基準（経済産業省）
　　河川管理施設等構造令（国土交通省）

ダ　　ム：　ダム・堰施設技術基準（案）（ダム・堰施設技術協会）
　　水門・樋門ゲート設計要領（案）（ダム・堰施設技術協会）
　　水門鉄管技術基準（水門鉄管協会）
　　土地改良事業計画設計基準・ダム

砂防ダム：　河川砂防技術基準（案）（国土交通省）
　　砂防設計マニュアル（全国治水砂防協会編）
　　砂防設備等有効利用技術審査基準（案）

取水堰　：　土地改良事業計画指針・農村環境整備（農林水産省構造改善局計画部平成 9 年 7 月）
　　農業用水利施設小水力発電設備・計画設計技術マニュアル

（農林水産省構造改善局　建設部平成 7 年 12 月）

土地改良事業計画設計基準・頭首工

水道施設設計指針・同解説（厚生省監修，日本水道協会）

水道施設耐震工法指針・同解説（日本水道協会）

工業用水道施設基準解説（日本工業用水協会）

水路工　：　土地改良事業計画設計基準・水路工

その他資料：国有林野のエネルギー資源利用検討会　報告書（平成 13 年 2 月）

砂防設備の発電利用に関する水政・開発・砂防三課合意メモについて

各地方自治体制定の設計標準（基準書，要領，他）

砂防設備の利用に関する審査意見書（設備管理者が第三者機関（砂防地すべり技術センター）に意見を聞く場合）

表 8－12 は適用施設・設備別に係る基準等を整理したもので，表 8－13 は各技術基準と条項について整理したものである。

簡易発電システムに適用が見込まれる取水設備について，法令等に起因する要求事項は表 8－14，水圧管路について法令等に起因する要求事項は表 8―15 に示す。

表 8－12　適用施設・設備に係る基準等

適用施設	種類	関係する基準等	備考
河川維持流量等放流設備	高さ 15m 以上のダム	ダム・堰施設技術基準（案） 水門・樋門ゲート設計要領（案） 水門鉄管技術基準	
	高さ 15m 以下のダム	ダム・堰施設技術基準（案） 水門・樋門ゲート設計要領（案） 水門鉄管技術基準	
砂防ダム	砂防ダム	河川砂防技術基準（案）（国土交通省 砂防設計マニュアル（全国治水砂防協会編） 砂防設備等有効利用技術審査基準（案）	
農業用水利施設	高さ 15m 以上のダム	ダム・堰施設技術基準（案） 水門・樋門ゲート設計要領（案） 水門鉄管技術基準 土地改良事業計画設計基準・ダム 農業用水利施設小水力発電設備・計画設計技術マニュアル	
	取水堰	土地改良事業計画指針・農村環境整備 土地改良事業計画設計基準・頭首工 農業用水利施設小水力発電設備・計画設計技術マニュアル ダム・堰施設技術基準（案） 水門・樋門ゲート設計要領（案）	
	水路工	土地改良事業計画設計基準・水路工 農業用水利施設小水力発電設備・計画設計技術マニュアル	
上水道・工業用水利施設及び下水道施設	取水堰	水道施設設計指針・同解説 水道施設耐震工法指針・同解説 工業用水道施設基準解説	
	水路工	水道施設設計指針・同解説 水道施設耐震工法指針・同解説 工業用水道施設基準解説	

注；上表において，共通である「水技」および「河川管理施設等構造令」は記載を省略した。

表 8－13(1)　関連する各種技術基準と条項

区　分	名　称	適　　用
共　通	発電用水力設備に関する技術基準 （経済産業省） 発電用水力設備に関する技術基準の解釈	第 1 条 適用範囲 第 25 条 放流設備の施設制限 第 26 条 水路一般事項 第 27 条 取水設備 第 28 条 沈砂池 第 29 条 導水路 第 32 条 水圧管路 第 33 条 放水路 第 36 条 貯水池および調整池
ダ ム	発電用水力設備に関する技術基準 （経済産業省） 発電用水力設備に関する技術基準の解釈	第 6 条 ダム 第 8 条 堤体に作用する荷重 第 15,18 条 堤体の強度 第 16,22 条 堤体の安定 第 17,20,23 条 堤体の施設
	河川管理施設等構造令 （国土交通省）	ダム 第 3 条 適用の範囲 第 6 条 堤体等に作用する荷重の種類 第 10 条 ゲート等の構造の原則 第 11 条 ゲートに作用する荷重の種類 第 12 条 荷重等の計算方法 第 15 条 地滑り防止工および漏水防止工
	河川砂防技術基準（案） （国土交通省）	第 2 章 ダムの設計
	ダム・堰施設技術基準（案） （ダム・堰施設技術協会）	第 2 章 水門扉
	水門鉄管技術基準　水門扉編 （水門鉄管協会）	全般
	水門鉄管技術基準 水圧鉄管・鋼構造物編 （水門鉄管協会）	水圧鉄管全般
砂防ダム	発電用水力設備に関する技術基準 （経済産業省） 発電用水力設備に関する技術基準の解釈	第 6 条 ダム 第 8 条 堤体に作用する荷重 第 15,18 条 堤体の強度 第 16,22 条 堤体の安定 第 17,20,23 条 堤体の施設
	河川砂防技術基準（案） （国土交通省）	第 3 章 砂防施設の設計 第 2 節 砂防ダム
	砂防設計マニュアル （全国治水砂防協会編）	全般
	砂防設備等有効利用技術審査基準（案）	全般

表 8－13(2)　関連する各種技術基準と条項

区　分	名　称	適　　用
取水堰 (可動堰)	河川管理施設等構造令 （国土交通省）	堰 第 36 条 可動堰の稼働部のゲートの構造
	河川砂防技術基準（案） （国土交通省）	第 1 章 第 7 節堰
	土地改良事業計画指針・農村環境整備 （農林水産省構造改善局計画部 平成 9 年 7 月）	
	土地改良事業計画設計基準・設計・ 頭首工（農林水産省構造改善局 平成 7 年 7 月）	可動堰全般
	ダム・堰施設技術基準（案） （ダム・堰施設技術協会）	第 2 章水門扉
	水門鉄管技術基準　水門扉編 （水門鉄管協会）	全般
	農業用水利施設小水力発電設備・ 計画設計技術マニュアル （農林水産省構造改善局建設部 平成 7 年 12 月）	全般
取水堰 (固定堰)	河川砂防技術基準（案） （国土交通省）	第 1 章 第 7 節堰
	土地改良事業計画指針・農村環境整備 （農林水産省構造改善局計画部 平成 9 年 7 月）	
	土地改良事業計画設計基準・設計・ 頭首工（農林水産省構造改善局 平成 7 年 7 月）	固定堰全般
	農業用水利施設小水力発電設備・ 計画設計技術マニュアル （農林水産省構造改善局建設部 平成 7 年 12 月）	全般
	水門鉄管技術基準 水圧鉄管・鋼構造物編 （水門鉄管協会）	水圧鉄管全般

表 8－13(3)　関連する各種技術基準と条項

区　分	名　称	適　　用
水路工	土地改良事業計画指針・農村環境整備 （農林水産省構造改善局計画部 平成 9 年 7 月）	
	土地改良事業計画設計基準・設計・ 水路工(その 1) （農林水産省構造改善局）	全般
	農業用水利施設小水力発電設備・ 計画設計技術マニュアル （農林水産省構造改善局建設部 平成 7 年 12 月）	
	水門・樋門ゲート設計要領（案） （ダム・堰施設技術協会）	用水用樋門に適用
	水道施設設計指針・同解説 （厚生省監修，日本水道協会）	
	水道施設耐震工法指針・同解説 （日本水道協会）	
	工業用水道施設基準解説 （日本工業用水協会）	全般

表 8－14　取水設備に対する要求事項

要求事項	該当法令等
取水設備の設置位置	「水力設備に関する技術基準を定める省令」 一般事項　第26条　水路は，次の各号により施設しなければならない
取水設備の安定性と流入状況の保持	一　洪水，山崩れ，なだれ等により損傷を受けるおそれがないこと
	二　設計水量以上の水量が流入するおそれがある場合には，その水量を安全に排除できること
	三　流木，じんかい，土砂等の流入により著しく損傷を受けるおそれがないこと
取水設備の使用材料	四　水路に使用するコンクリートの材料は第10条の各号によること
	五　水路に使用するコンクリート以外の材料は，水路に必要な化学的および機械的性能を有するものであること
取水設備の材料強度	取水設備　第27条　取水設備は，次の各号により施設しなければならない
	一　取水設備は，自重および土圧に対して安定であり，かつ，これらの荷重による応力は，使用する材料ごとにそれぞれの許容応力度を超えないこと
ゲートの適用範囲	「水門鉄管技術基準・水門扉編」 第1節　総則 第2条　この基準は，発電用・農業用・港湾用等の水門扉，放流管，取水塔，スクリーンおよび付属設備に適用する
ゲートの基本条件	第5条　水門扉は，次の各号に適合するよう設計しなければならない ・確実に開閉できること ・考慮すべき荷重に対して安全であること ・適切な水密性および耐久性を有すること ・有害な振動を生じないこと ・操作が確実で，保守管理が容易であること
ゲートの応力度の照査	第9条　水門扉の設計は，確実に機能を発揮するよう，応力度，たわみ度や座屈について照査し，安全性を確認しなければならない
ゲートの材料の許容応力度	第15条　額，戸当り，湖底部，取水塔およびスクリーンに用いられる構造用鋼材，鋳・鍛鋼品および機械構造用炭素鋼の許容応力度は次のとおりとする
ゲートの開閉装置用材料の安全率	第19条　開閉装置に使用する材料の安全率は，使用原動機の定格トルクから算出した応力度が，使用材料の引張強さに対し，表に示す値以上とし，かつ，最大トルクから算出した応力度が使用材料の降伏点の90%以下にしなければならない
ゲートの許容たわみ度	第20条　扉体の曲げによるたわみ度は，径間に対して表に示す値以下としなければならない
可動堰の構造	「土地改良事業計画設計基準・頭首工」 3.2.1　可動堰は，ゲート操作により，取水時における必要な水位および洪水時における流水の安全な流下を確保し，流水その他の外力に対して安全な構造とする
固定堰の構造	3.2.2　固定堰は，取水時には必要な水位を確保し，洪水時には流水の流下に著しい支障を与えず，外力に対して安全で水利的に有利な断面を有する構造とする
ゲートの構造	3.2.7　ゲートは，取水確保のため必要な水密性を有し，流水等の外力に対して安全で，開閉が確実かつ円滑に行える構造とする

表 8－15(1)　水圧管路に対する要求事項

要求事項	該当法令等（水力設備に関する技術基準を定める省令）
設置位置	一般事項 第 26 条　水路は，次の各号により施設しなければならない
設備の安定性 流入状況を保持	一　洪水，山崩れ，なだれ等により損傷を受けるおそれがないこと
	二　設計水量以上の水量が流入するおそれがある場合には，その水量を安全に排除できること
	三　流木，じんかい，土砂等の流入により著しく損傷を受けるおそれがないこと
使用材料	四　水路に使用するコンクリートの材料は第10条の各号によること
	五　水路に使用するコンクリート以外の材料は，水路に必要な化学的および機械的性能を有するものであること
全般	水圧管路 第 32 条　水圧管路は，次の各号により施設しなければならない
許容応力度	一　次の表の上覧に掲げる形式の水圧管路にあっては，それぞれ同表の下欄に掲げる荷重による応力‥‥は，使用する材料ごとにそれぞれの許容応力度を超えないこと
振動，座屈，腐食	二　管胴本体は，振動，座屈および腐食に対し安全であること
最低動水勾配線	三　ヘッドタンク又はサージタンク（これらがない場合は，取水設備）の水位が最低の場合における最低動水勾配線以下に位置すること
漏水	四　危険な漏水がないこと
安定性，許容応力度	五　アンカーブロックは，次によること イ．管胴本体を確実に固定するものであること ロ．アンカーブロックは，自重，‥‥荷重に対し安定であり，‥‥使用する材料ごとにそれぞれの許容応力をこえないこと
安定性，伸縮吸収	六　支台は，次によること イ．支台は，自重‥‥荷重に対し安定であり，‥‥使用する材料ごとにそれぞれの許容応力をこえないこと ロ．支台の支承部は，管胴本体の伸縮の際に管胴本体が安全かつ円滑に移動できる構造であること

表 8－15(2)　水圧管路に対する要求事項

要求事項	該当法令等（水門鉄管技術基準）
適用範囲	第1節　総則 第1条　この基準は，全ての水力発電所の水圧鉄管に適用する
水圧鉄管の計画，設計	第2節　計画一般 第3条　水圧鉄管の計画，設計は，安全性・経済性・施工性を考慮しなければならない
設計に用いる内圧	第4条　水圧鉄管の設計に用いる内圧は，静水時にサージングおよび水撃作用よる上昇水圧を加味して，起こりうる最大水圧とする
設計に用いる外圧	第5条　水圧鉄管の設計に用いる外圧は，排水時・管内空虚時のほか，施工時を通じて起こりうる最大圧力とする
損失水頭	第6条　水圧鉄管は，損失水頭ができるだけ小さくなるように主要耐圧部および附属設備の構造を決定しなければならない
水圧鉄管の材料	第3節　材料および許容応力 第8条　水圧鉄管の主要耐圧部およびこれに直接溶接する主要な附属設備に使用する材料は，表のとおりとする。ただし，化学成分および機械的性質等について確認した場合は，表以外の材料を使用することができる
材料試験	第10条　本章第8条以外の材料を使用する場合の材料試験・検査および標示の方法は，それぞれ使用材料の規格に規定された方法で行い，それ以外は，鋼材の検査通則によらなければならない
許容応力	第11条　設計計算に用いる許容応力は，表の値以下としなければならない。表に規定していない材料を使用するときの許容応力は，その材料の性質等について十分な検討をしたうえ，決定しなければならない
適用範囲	第4節　主要耐圧部の設計 第12条　本説は，鋼板を材料とし，ロールあるいはプレス加工により製作される水圧鉄管に適用する
最小板厚	第13条　主要耐圧部に使用する管の最小板厚は，補剛材を使用しない場合には次式によって求めた値以上としなければならない。ただし，補剛材を使用した場合でも最小板厚は 6㎜ を下回ることはできない
余裕厚	第14条　主要耐圧部に使用する板厚は，腐食および摩耗に対して 1.5㎜ 以上の余裕をつけなければならない
溶接継手効率	第16条　水圧鉄管の突合せ溶接の継手効率は表のとおりとする
主要耐圧部の設計条件	第20条　主要耐圧部は，次の各号の条件に適合するように設計しなければならない
振動に対する考慮	第21条　主要耐圧部の設計は，発電所の運転に支障をきたすおそれのある振動が発生しないように考慮しなければならない

表 8－15(3)　水圧管路に対する要求事項

要求事項	該当法令等（水門鉄管技術基準）
適用範囲	第 9 節　JIS 規格鋼管を用いる水圧鉄管 第 60 条 本節は，JIS 規格鋼管を用いる水圧鉄管に適用する
主要耐圧部の材料	第 62 条 主要耐圧部に使用する JIS 規格鋼管の種類は，表のとおりとする ・水道用亜鉛めっき鋼管 ・水輸送用塗覆装鋼管 ・配管用炭素鋼鋼管 ・圧力配管用炭素鋼鋼管 ・高圧配管用炭素鋼鋼管 ・配管用アーク溶接炭素鋼鋼管 ・ポリエチレン被覆鋼管 ・配管用ステンレス鋼鋼管 ・配管用アーク溶接大径ステンレス鋼鋼管
許容応力	第 63 条 設計計算に用いる許容応力は表の値以下としなければならない
適用範囲	第 10 節 ダクタイル鋳鉄管を用いる水圧鉄管 第 71 条 本説は，JIS 規格ダクタイル鋳鉄管を用いる水圧鉄管に適用する
許容応力	第 74 条 設計計算に用いる許容応力は表の値以下としなければならない
適用範囲	「水門鉄管技術基準，FRPM 水圧管編」 第 1 条　この基準はすべての水力発電所の FRPM 管を用いる水圧管路に適用する
FRPM 水圧管の計画，設計	第 3 条　FRPM 水圧管の計画，設計は，安全性・経済性・施工性を考慮しなければならない
設計に用いる内圧	第 4 条　FRPM 水圧管の設計に用いる内圧は，静水時にサージングおよび水撃作用よる上昇水圧を加味して，起こりうる最大水圧とする
設計に用いる外圧	第 5 条　FRPM 水圧管の設計に用いる外圧は，排水時・管内空虚時のほか，施工時を通じて起こりうる最大圧力とする
損失水頭	第 6 条　FRPM 水圧管の損失水頭は，できるだけ小さくなるようにしなければならない
設計計算の原則	第 10 条 FRPM 水圧管の主要耐圧部の設計計算は，原則として許容応力法によって行うものとする
許容応力	第 18 条 設計計算に用いる許容応力は，第 14 条による FRP 強度層の強度を適切な安全率で除してもとめるものとする

８．２　適用施設別手続き

簡易発電システムを導入する際には，法的手続きが必要となる。
河川維持流量等放流設備，砂防ダム，農業用水利施設，上水道・工業用水利施設および下水道施設の場合について，各法的手続きフローを整理し，手順を確認する。

【解説】

図 8－7～10 に適用施設別の法的手続きフローを示す。

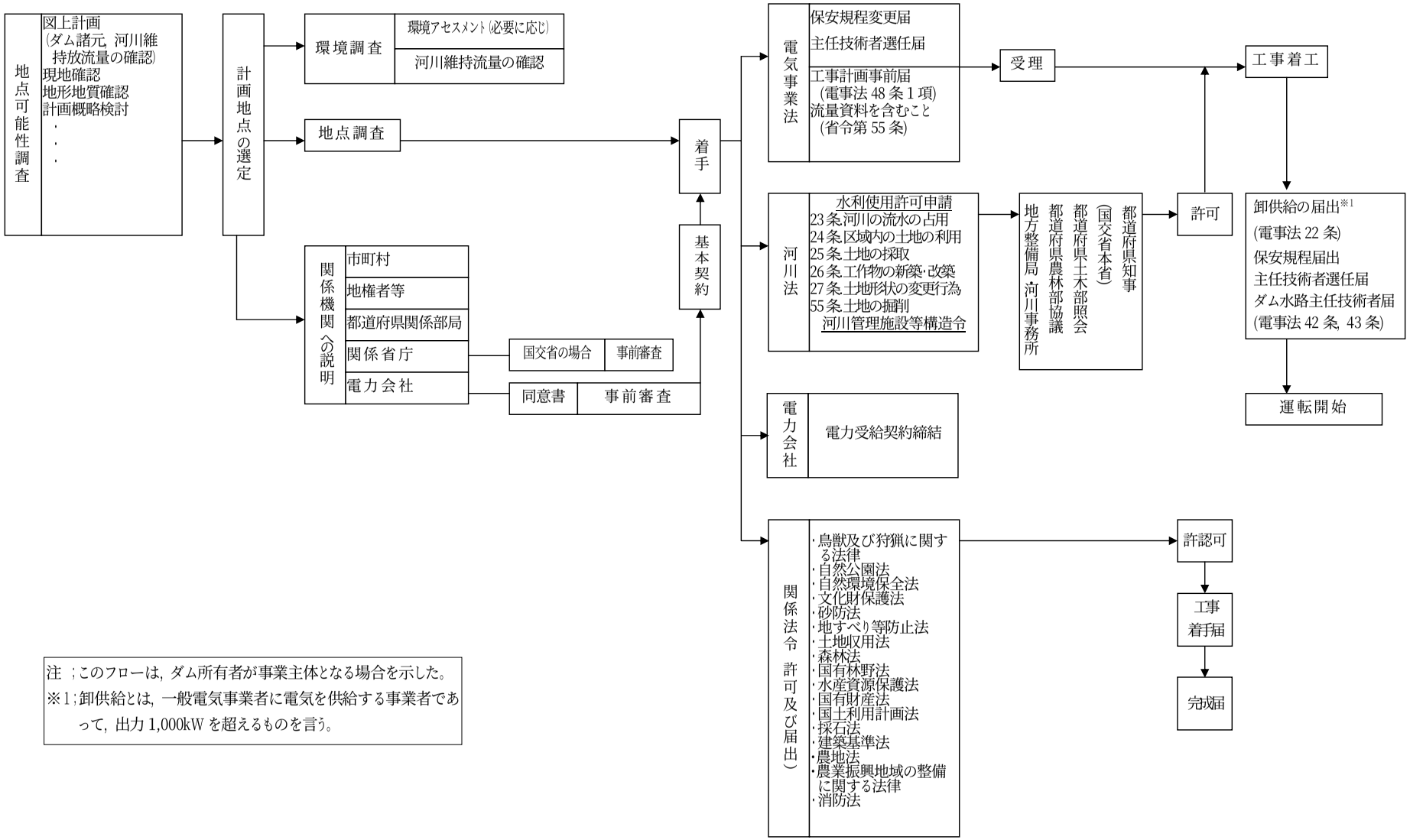
計画地点の選定から着手するまでに必要な手順は，先ず計画地点の選定で，概略調査および概略計画により規模を把握し，経済性の検討を行った上で選定した地点の計画概要を作成する。次に，計画地点の選定に伴い，建設を前提とした諸現地調査および設計を行うとともに，流量の調査を行い，並行して建設予定市町村関係，地権者関係，都道府県知事部局関係，省庁関係等への説明又は協議を行い，同意若しくは協力を得る。電力会社へ売電する場合は，電力会社との間で開発同意や受給契約を締結する。

着手から許認可を得るまでに必要な手順は，電気事業法による工事計画の事前届出を経済産業大臣に対し行い，河川法による各種許可の申請を当該河川の管理者に対して行う。その他計画位置において該当する関連法令について,開発行為に必要な許可の申請を行う。

河川指定のなされていない河川の上流部（渓流部など普通河川）では，河川指定の手続きが必要となるので注意が必要である。いずれの場合も，河川法上の特定水利使用となるため，流水の占用の許可等の申請が必要である。

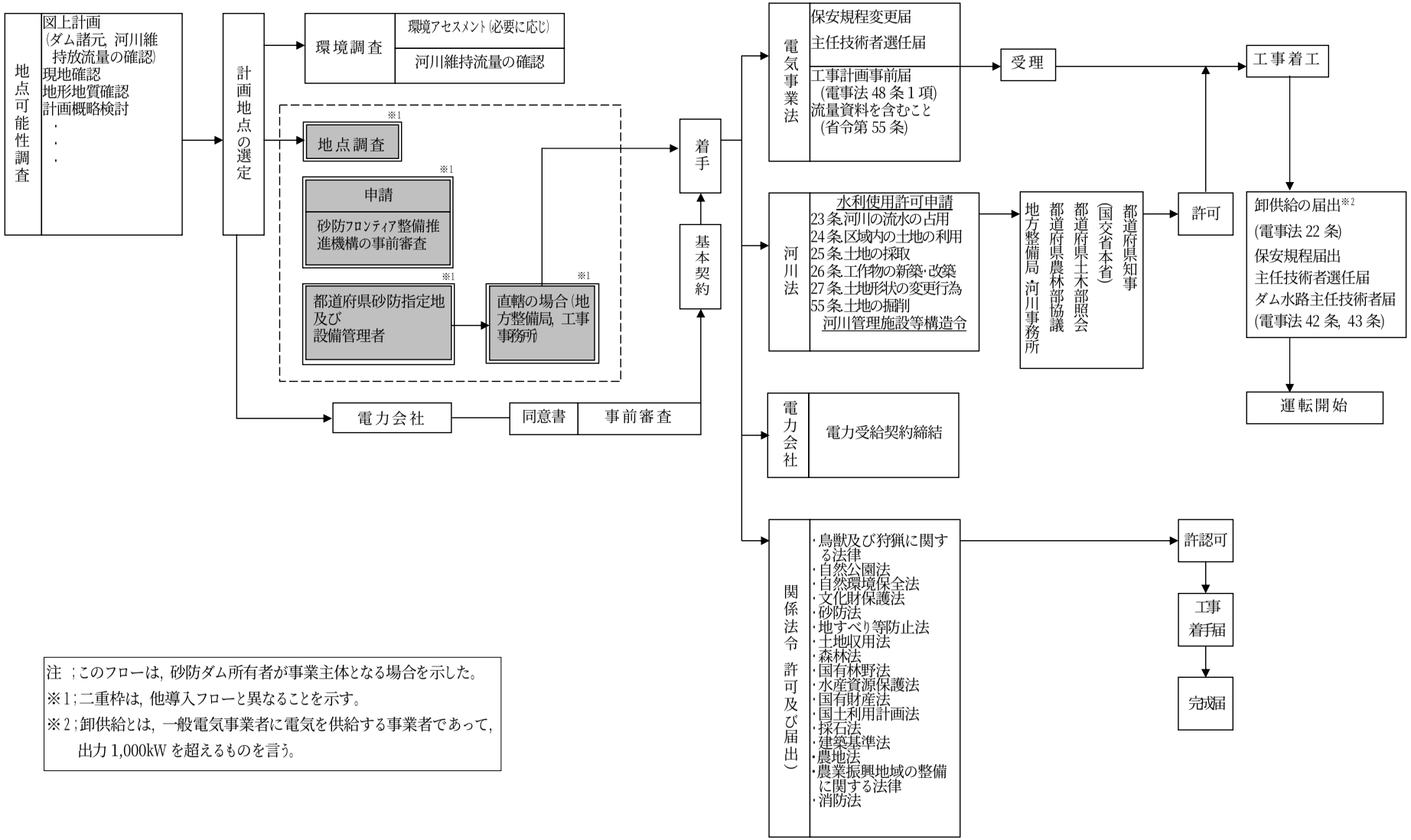
砂防ダム利用の場合は，河川指定がなされているかの確認および砂防ダム本体の河川管理施設構造令の適合を確認する必要がある。農業水利施設利用の場合は，地元土地改良区等への説明，地方農政局への報告が必要となる。上水道水利施設に計画する場合は，安定供給の確認も重要である。

なお，巻末資料－14 に電気事業法の届出および河川法に係る許可申請事例等を添付した。



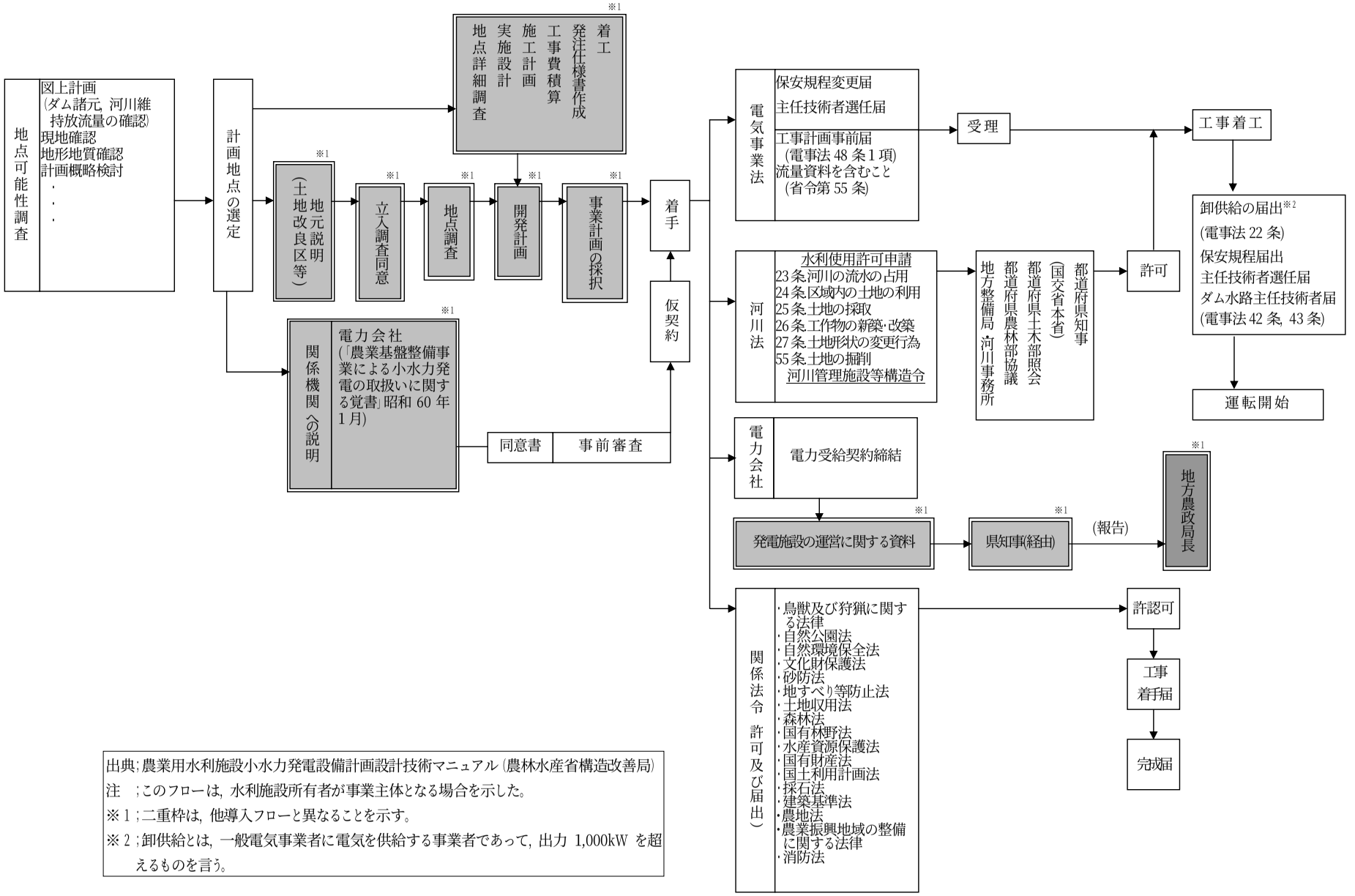
注 ；このフローは，ダム所有者が事業主体となる場合を示した。
※1；卸供給とは，一般電気事業者に電気を供給する事業者であって，出力 1,000kW を超えるものを言う。

図 8－7　簡易発電システム導入フロー（河川維持流量等放流設備の場合）



注 ;このフローは, 砂防ダム所有者が事業主体となる場合を示した。
※1;二重枠は, 他導入フローと異なることを示す。
※2;卸供給とは, 一般電気事業者に電気を供給する事業者であって, 出力 1,000kW を超えるものを言う。

図 8－8　簡易発電システム導入フロー（砂防ダムの場合）



出典；農業用水利施設小水力発電設備計画設計技術マニュアル（農林水産省構造改善局）
注　；このフローは，水利施設所有者が事業主体となる場合を示した。
※1；二重枠は，他導入フローと異なることを示す。
※2；卸供給とは，一般電気事業者に電気を供給する事業者であって，出力 1,000kW を超えるものを言う。

図 8－9　簡易発電システム導入フロー（農業水利施設の場合）

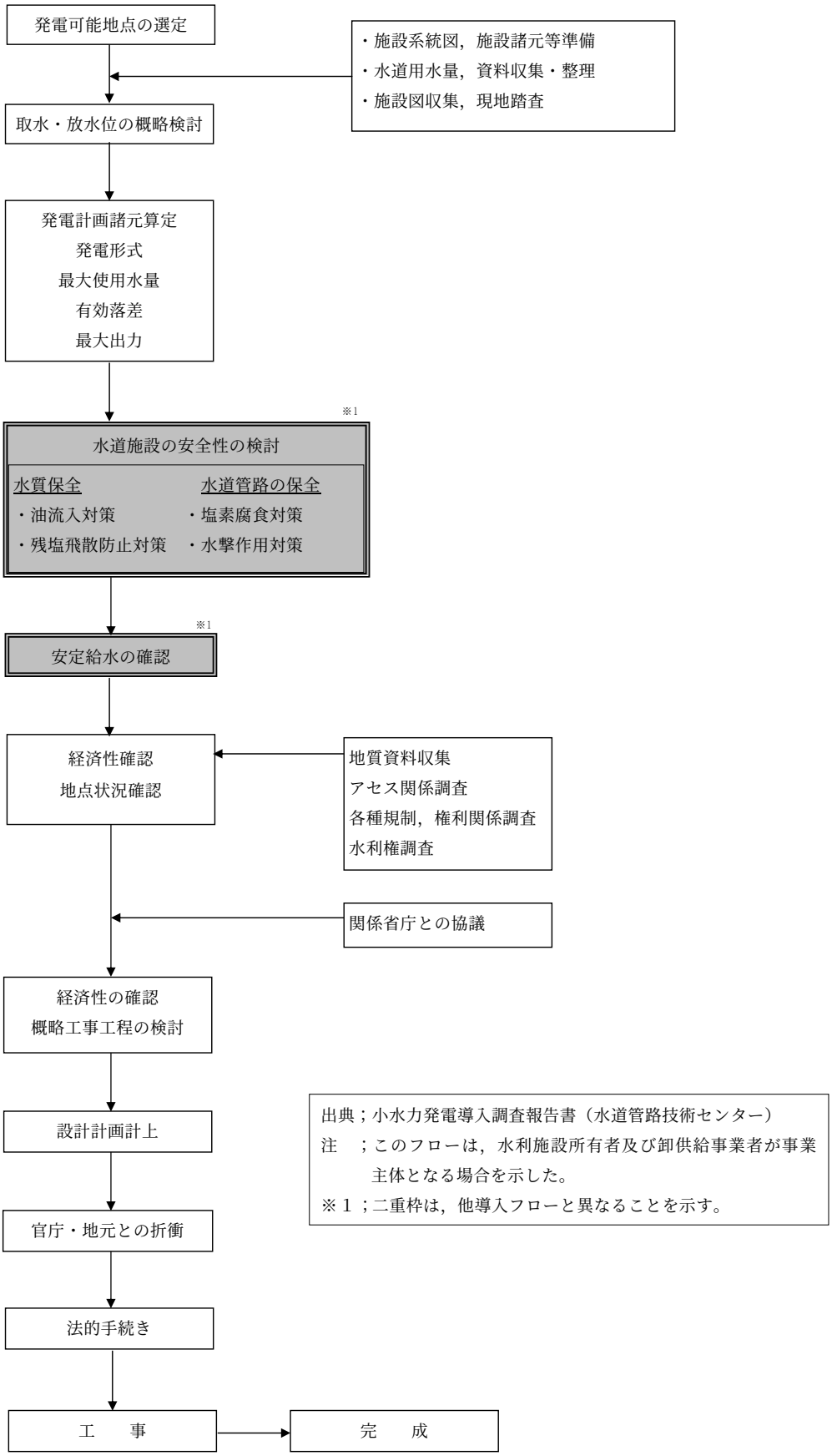


図 8－10　簡易発電システム導入フロー（上水道用水利施設の場合）

第９章　助成制度

９．１　主な助成制度

小水力発電の開発にあたっては，事業の目的・内容，適用施設に応じて，建設費用等を対象とした各種助成制度を積極的に活用し，経済性の向上を図る。

【解説】

開発規模が小さく，経済性に課題がある小水力発電の開発にあたっては，事業の目的・内容に応じて，建設費用等を対象とした各種助成制度（表 9－1 参照）を積極的に活用し，経済性の向上を図る必要がある。

なお，主な助成制度とその内容に関しては，巻末資料－15 に示す参考資料に記載されているので，本設計マニュアルでは詳細な解説を省略するが，活用にあたっては助成制度の新設，助成率の変更および廃止等を所管省庁のホームページ等で確認する必要がある。

表 9－１　建設費用に関わる主な助成制度

所管省庁及び事業名	助成対象	補助率及び限度額		事業目的	事業区分
		国	県		
経済産業省					
中小水力発電 開発費補助金事業	一般電気事業者 卸電気事業者 公営電気等卸供給事業者 特定規模電気事業者 特定電気事業者 自家用水力発電所設置者	・5,000kW以下：20% ・5,000kWを超えて 30,000kW以下：10% ・経済性が劣るまたは RPS法認定設備：10% （上乗せ） ・新技術導入部分：50%	－	中小水力の初期発電原価を引き下げ，開発の促進を図り，電源の開発・利用に資する。	－
総務省					
水道事業等における 小水力発電の推進	地方公共団体	起債充当率	－	水道事業および工業用水道事業の付帯工事（売電）としても小水力発電を積極的に展開するために地方債処置を講じる。	－
ふるさとづくり事業	市町村	事業債の許可（充当率90～75%）のうち，75%の元利償還金については，その30～55%を交付税措置	－	自主的・主体的な地域づくりの取り組みを支援する。	集会・交流施設の整備等，その他個別事業
農林水産省					
農村総合整備事業	都道府県，市町村， 土地改良区等	50%	0～20%	農業生産基盤の整備及びこれと関連をもつ農村生活環境の整備を総合的に実施するとともに，併せて都市と農村の交流促進のための条件整備等を図る農村整備事業を推進し，活力のある農村地域社会の発展に資する。	農業生産基盤整備事業，生活環境基盤整備事業，交流基盤整備事業等
農村振興 総合整備事業	都道府県，市町村等	50%	10～20%	個性ある農村振興が図れるよう，地域住民参加の下，地域のニーズに応じた農業生産基盤と生活環境の整備を総合的に実施する。	農業生産基盤整備事業，生活環境基盤整備事業，交流基盤整備事業等
中山間地域 総合整備事業	都道府県，市町村等	50%	30%	中山間地域の立地条件に沿った基盤整備を行い，定住促進，都市との共通社会の形成及び国土・環境の保全等に資する。	生活環境整備基盤事業，交流基盤整備事業，むらづくり基盤整備事業等
里地棚田保全 整備事業	都道府県，市町村等	50%	20%	里地や棚田において，地域条件に即した生産基盤整備や土地改良施設等の維持管理を実施するための施設整備を行う。	土地改良施設等保全整備事業，生活環境基盤整備事業等
地域用水環境 整備事業	市町村 土地改良区 その他団体	50%	25%	農業水利施設の保全，整備と一体的に地域用水を有する施設の整備を行い，農村地域の生活空間の向上を図る。	地域用水環境整備事業，歴史的施設保全事業
農業近代化資金制度	農業者 農業協同組合	・利子補給1.25% ・金利1.7%以内	－	農業用建物，農村環境整備，未利用資源活用施設を含む。	－
農業漁業金融公庫	農業者 農業協同組合	・返済期間15年 ・金利1.85%以内	－	中山間地域の活性化，用水路，排水路の整備。	－
環境省					
二酸化炭素排出抑制 対策事業費等補助金	地方公共団体	50%	－	地方公共団体等が行う地球温暖化対策事業（代エネ・省エネ）の強化と速やかな普及を図る。	－
その他					
グリーン電力基金	地方公共団体	・20万円/kW ・上限1,000万円	－	CO_2抑制等，環境保全への寄付金を自然エネルギー発電設備へ助成金として配分。	－

出典；「ハイドロバレー計画ガイドブック」（平成 17 年 3 月　経済産業省資源エネルギー庁，財団法人新エネルギー財団）

９．２　地方債等

地方公共団体が事業者となって小水力発電を開発する場合は，建設費用の資金充当を目的に，小水力発電の開発に適用可能な地方債の発行等を検討し，経済性の向上を図る。

【解説】

地方公共団体が事業者となって小水力発電を開発する場合は，建設費用の資金充当を目的に，小水力発電の開発に適用可能な地方債（表 9－2 参照）の発行等を検討し，経済性の向上を図る必要がある。なお，地方債の活用にあたっては，電気の需要施設や余剰電力の取り扱い方法等によって，適用できない場合もあるので，事前に所管省庁と調整する必要がある。

小水力発電の建設にあたり，市民参加型ミニ市場公募債（市民債）発行し，建設費用の財源に活用した事例としては，「家中川小水力市民発電所（山梨県都留市）」がある。

なお，地方債に関しては既存資料に詳しく解説されているので，本設計マニュアルでは詳細な解説を省略した。したがって，地方債とその内容に関しては,巻末資料－15 に示す参考資料等を参照されたい。

表 9－2　地方債

所管省庁及び地方債名	助成対象	補助率及び限度額		事業目的	事業区分
		国	県		
総務省					
過疎対策事業債	市町村 （過疎指定地域）	起債充当率100%，元利償還に要する経費のうち，70%を交付税措置	－	過疎地域が自主性，主体性を発揮し，自ら創意工夫によって，自立につながる施策の推進や公共的施設の整備を図る。	集会・交流施設の整備等，その他個別事業
辺地対策事業債	市町村 （辺地指定地域）	起債充当率100%，元利償還に要する経費のうち，80%を交付税措置	－	辺地地域が自主性，主体性を発揮し，自ら創意工夫によって，自立につながる施策の推進や公共的施設の整備を図る。	〃

出典；「ハイドロバレー計画ガイドブック」（平成 17 年 3 月　経済産業省資源エネルギー庁，財団法人新エネルギー財団）

Ⅱ－２　一般市販管による水圧管路技術基準（案）

一般市販管による
水圧管路技術基準(案)

・硬質塩化ビニル管
・ポリエチレン管
・耐圧ポリエチレンリブ管　　編

― 付 解 説 ―

財団法人　新エネルギー財団

(経済産業省　資源エネルギー庁　委託調査)

水力資源有効活用技術開発調査

小水力発電部会　委員名簿

（平成１８年度）

役名	氏　名	所　属　お　よ　び　職　名		
主査	山中　豪俊	電源開発㈱	東日本支店　田子倉電力所	所長
副主査	笠原　強造	東京電力㈱	信濃川電力所　土木建築グループ	副長
委員	細越　　亮	東北電力㈱	土木建築部　水力土木グループ	主任
委員	大濱　隆司	九州電力㈱	土木部　土木計画・建設グループ	チーフ
委員	斉藤　恵吾	群馬県企業局	発電課	主任
委員	白石　達也	東京発電㈱	水力事業部　運営管理グループ	ﾏﾈｰｼﾞｬｰ
委員	大和　昌一	富士電機システムズ㈱	e‐ソリューション本部 エネルギーソリューション統括部 営業技術部	担当部長
委員	安蒜　和浩	㈱明電舎	発電制御装置部　技術課	技師

本基準(案)は，平成 14 年度から 18 年度にわたり，資源エネルギー庁からの委託により（財）新エネルギー財団が実施した「水力資源有効活用技術開発調査」のうちの「小水力資源有効活用技術開発調査」のなかで，コストダウンに向けた技術検討・詳細調査の一環として実施した“一般市販管による水圧管路の適用に関する検討”の成果を取りまとめたものである。

本調査を実施するにあたっては，（財）新エネルギー財団に上記専門部会を設置し，本調査に関する基本的事項，具体的・専門的事項について審議した。

一般市販管による水圧管路技術基準(案)

・ 硬質塩化ビニル管
・ ポリエチレン管
・ 耐圧ポリエチレンリブ管　　編

目　　次

第１節　総　　則
第１条　適用範囲……1
第２条　定　　義……1

第２節　計画一般
第３条　計画，設計……3
第４条　設計に用いる内圧……5
第５条　設計に用いる外圧……9
第６条　損失水頭……10

第３節　材　　料
第７条　主要耐圧部の材料……13
第８条　付属設備の材料……15
第９条　材料試験……15

第４節　主要耐圧部の設計
第１　一般事項
第10条　設計の原則……17
第11条　余裕厚……17
第12条　設計に用いる寸法……18
第13条　継手効率……18
第14条　設計に用いる物性値……18
第15条　考慮する荷重……21
第16条　荷重の組合せ……22
第17条　許容応力……22
第18条　許容応力の割増……24

第 19 条　主要耐圧部の設計 24
第 20 条　振動に対する考慮 25
第 21 条　使用環境に対する考慮 26
第 22 条　摩耗に対する考慮 27
第 2　露出形式水圧管
第 23 条　考慮する荷重 30
第 24 条　荷重の組合せ 30
第 25 条　管と支承の摩擦係数 31
第 26 条　応力の算定 31
第 3　土中埋設形式水圧管
第 27 条　考慮する荷重 36
第 28 条　荷重組合せ 36
第 29 条　埋設条件 37
第 30 条　応力の算定 38

第 5 節　付属設備
第 31 条　継手 45
第 32 条　継手の設計 47
第 33 条　曲管 47
第 34 条　漸縮管 48
第 35 条　分岐管 49
第 36 条　付属設備設置に伴う欠損部の補強 50
第 37 条　スラストカラ 50
第 38 条　マンホール 51
第 39 条　空気管及び空気弁 51
第 40 条　制水弁，バイパス管及びバイパス弁 52
第 41 条　排水管及び排水弁 53
第 42 条　支台及びアンカブロックの位置と基礎 53
第 43 条　支台及びアンカブロックに考慮する荷重 55
第 44 条　支台及びアンカブロックの安定検討 59
第 45 条　支台の支承部 61
第 46 条　アンカボルト等 62

第 6 節　製作

第 47 条　試験及び検査 …… 63
第 48 条　付属設備の製作 …… 64

第 7 節　据付け

第 49 条　取扱い …… 65
第 50 条　据付一般 …… 65
第 51 条　継手の施工 …… 66
第 52 条　調整管 …… 67
第 53 条　充水及び運転試験 …… 67
第 54 条　銘板 …… 68

第 8 節　保守管理

第 55 条　漏水の防止 …… 69
第 56 条　継手の整備 …… 69
第 57 条　空気管及び空気弁の整備 …… 69
第 58 条　振動の軽減 …… 70
第 59 条　完成後の水質に対する考慮 …… 70
第 60 条　管の点検 …… 71
第 61 条　補修又は取替え …… 71
第 62 条　支台及びアンカブロックの補修 …… 71
第 63 条　敷及び切取りのり面の保護 …… 72

第１節　総　　則

(適用範囲)

第１条　本基準(案)は，水力発電所の一般市販管による水圧管路に適用する。

〔解説〕

本基準(案)は，第２条に定義する一般市販管による水圧管路（以下「一般市販管」という）に適用するものである。

一般市販管は水圧管路のみならず導水路及び余水路などの材料としても適用可能な材料であり，これらに使用する場合においては荷重条件など個々の諸条件を勘案のうえ，内圧の有無に関わらず本基準(案)に従う。

なお，関連する法規及び基準は以下のとおりであり，これらを考慮して設計する必要がある。

（関連する法規類）

1) 発電用水力設備に関する技術基準を定める省令，
同技術基準の解釈について　[経済産業省]
2) 電気設備に関する技術基準を定める省令，
同技術基準の解釈について　[経済産業省]
3) 河川管理施設等構造令及び同施行規則　[国土交通省]
4) 労働安全衛生規則　[厚生労働省]
5) ボイラ構造規格　[厚生労働省]
6) 圧力容器構造規格　[厚生労働省]

（参考となる基準規格類）

1) 水門鉄管技術基準　水圧鉄管編及び FRP(M)水圧管編　[水門鉄管協会]
2) 日本工業規格　[経済産業省]
3) 土地改良事業計画設計基準(パイプライン)　(以下，単に”農林基準”と略す)　[農林水産省]
4) 水道施設設計指針（以下，単に”水道指針”と略す)　[日本水道協会]
5) コンクリート標準仕様書　[土木学会]

(定義)

第2条　本基準(案)において「一般市販管」とは，硬質塩化ビニル管（PVC-U，本基準(案)の中では単に”塩ビ管”と略す)，ポリエチレン管（本基準(案)の中では単に”ポリ管”と略す)，耐圧ポリエチレンリブ管（ハウエル管，本基準(案)の中では単に”リブ管”と略す）とする。

2. 本基準(案)において「一般市販管による水圧管路」とは，取水口やヘッドタンク

又はサージタンクから水車に導水するために設けられた工作物であって，一般市販管による水圧管路の主要耐圧部及び付属設備とする。

3. この基準において「主要耐圧部」とは，一般市販管の管胴本体とする。

4. この基準において「付属設備」とは，次に上げるものとする。

(1) 継手

(2) 異形管，スラストカラ，その他主要耐圧部と密接な関係があるもの

(3) マンホール

(4) 空気管及び空気弁

(5) 制水弁及びそのバイパス管並びにバイパス弁

(6) 排水管及び排水弁

(7) 支持構造物

〔解説〕

1. 本基準(案)で対象とする「一般市販管」とは以下の管をいう。

1) 硬質塩化ビニル管(PVC-U)（本基準(案)の中では単に”塩ビ管”と略す）

2) ポリエチレン管（本基準(案)の中では単に”ポリ管”と略す）

3) 耐圧ポリエチレンリブ管(ハウエル管)

（本基準(案)の中では単に”リブ管”と略す）

なお，一般市販管としては，農業用パイプラインなどで使用されているプレストレストコンクリート管（PC 管）が存在するが，既に『発電用水力設備に関する技術基準を定める省令』第 26 条の四においてコンクリートの材料が規定されていることから，本基準(案)では対象外とした。

2. 本基準(案)で対象とする一般市販管は第 7 条に規定する管種とする。

3. 「一般市販管による水圧管路」は，例えばダム式発電所やサージタンクを省略したダム水路式発電所で，取水口から水車に導水する管路，又はヘッドタンクもしくはサージタンクから水車までの管路とする。

4. 継手は第 31 条に規定する形式とする。

5. 付属設備のうち異形管としては曲管，漸縮管，分岐管などがあり，「主要耐圧部と密接な関係があるもの」とは，例えば，主要耐圧部と一体となって働く構造物などで，主要耐圧部の強度に重大な影響を及ぼすものとする。

6. 付属設備のうち「支持構造物」とは，一般市販管を支持する構造物のことで，支台の支承部やアンカボルト等を含むものとする。支持構造物は管路形式によって以下のような構造となる。

露出形式⇒支台(中間 2 点支持，連続支持など)，アンカブロック

土中埋設形式⇒砂（土質材料）基礎，コンクリート基礎

第 2 節　計画一般

（計画，設計）

第3条　一般市販管による水圧管路の計画，設計は，安全性，経済性，施工性を考慮する。

〔解説〕

一般市販管による水圧管路は，発電用水力設備の重要構造物のひとつであり，設備の安全管理を前提として，管路の機能性，施工性，保守管理等を考慮し，最も経済的な計画，設計とする。

水圧管路計画において，一般市販管を採用することの利点としては下記のような事項が挙げられる。

1)　用地や施工条件を含めて総合的に評価した場合，鋼管や FRP(M)管に比べて経済的に有利となる可能性があること。
2)　比較的軽量で施工性に優れること。また，ポリ管やリブ管（融着接合）では，管が一体化するため曲線配置が可能であり，曲管の省略が可能なこと。
3)　一般市販管として資材の入手が容易なこと。
4)　水理特性（内面粗度が小さい）が優れていること。

なお，一般市販管の採用にあたっては，水圧管独自の経済性のみでなく，発電所全体計画の経済性を考慮して計画，設計する必要がある。

一般市販管は，特に次の要素を考慮して計画，設計する。

(1)　経路

一般市販管の経路は，材料本体からは平面，縦断面共直線形とするのが望ましいが，軽量，耐蝕性，継手の角変位及び軸変位に対する追随性等の特有の機能を活用し，地形，地質，環境条件及び経済性等に十分配慮した配置とすべきである。

ただし，縦断勾配は取水口，ヘッドタンク又はサージタンクの水位が最低の場合でも，水圧管路が動水勾配線以下となるように選定し，水車の負荷変動(遮断，無拘束運転時を含む)によって負圧を生じないようにする必要がある。

(2)　一般市販管の支持形式

一般市販管の支持形式は露出式と埋設式に大別される。

露出管の支持形式としては両端支持，中間 2 点支持，連続基礎支持等が代表的なものであり，基礎条件，応力条件，単管長の選択等を考慮して選択される。

埋設管の場合は土質材料によって支持されるが，施工条件による設計外圧，管周方向曲げモーメント，許容内圧，たわみ率，管軸方向曲げ応力等について検討

する。

なお，水圧管路として一般市販管を対象としている水道指針や農林基準においては土中埋設を基本としている。

また，一般市販管を露出配管とする場合，塩ビ管については紫外線による劣化が懸念されるため，適切な紫外線対策を施さなければならない。また，ポリ管やリブ管の場合は，カーボンブラックの配合によって紫外線に対応することを基本とし，さらに，線膨張係数が大きいことやクリープ特性が比較的強いため，温度変化，固定部や他の管との接合部の設計，継手の構造（伸縮継手を設けないなど）形式などについて適切に対応する必要がある。

(3)　一般市販管の施工法

一般水力で取水地点と水車を直結する計画では，水圧管路の工事工程が全工程に影響する場合もあるので，仮設備(道路)を含む施工法が重視される。

水圧管路工事が発電所全体の工事工程を支配する要素となる場合があるので，一般市販管の接合時間が短い特性を活かした施工法等を重視した計画を行う必要がある。

(4)　水圧管路の条数

水圧管路の工事費は一般に条数とともに増加するので,管路が長い場合は管径,輸送限界，強度限界等を考慮し，適切な位置に分岐部を設けて，それより上流の管路条数を減らすのが望ましい。

(5)　管径

発電用水力設備の一部である水圧管路の建設費のみに着目することなく，発電計画全体を考慮した経済性の検討が必要である。

水力発電に関する評価方法としては，一般に建設単価法と C/V 法が用いられている。建設単価法は発電所の出力(kW)当りの建設費，あるいは発電電力量(kWh)当りの建設費によって評価する考え方である。一方，C/V 法は，水力発電所の経費を C（Cost）とし，水力発電所の便益（水力発電所の代わりに火力発電所を建設した場合に要する経費に相当）を V（Value）として，その比によって経済性を評価する考え方である。

なお，一般市販管を用いて比較的小規模な自家消費型の水力発電所を計画する場合は,上記評価手法に加えて,「キャッシュフロー」による発電計画の収支予想を行うことが有効となる[1)]。

一般市販管の管径は,任意の管径を特別注文によって製作することもできるが,一般には，予め設定されている呼径のものの中から選択するのが設計，製作上から経済的である。

---

1) ハイドロバレー計画ガイドブック　経済産業省資源エネルギー庁　(財)新エネルギー財団,平成 17 年 3 月

管径は，まず通常の水圧鉄管の場合に考えられる平均管径に近似する呼径のものを選択し，最終的に採用する呼径は，上記で選択した呼径の上下の呼径のものを比較案として設定し，それぞれの工事費，有効出力，有効電力量の増減に基づく経済性を比較検討して最も経済的な管径を選択する。

(6)　管材料（管種）

一般市販管の主要耐圧部の材料は第 7 条で規定する。

一般市販管は設計条件と各管の特性に応じて，充水時，満水時，空虚時の強度計算から管厚を決定するか，又は管種を選定する。

表-3-1 に各一般市販管の種類を示す。

表-3-1(1)　塩ビ管の種類

記号	最大使用圧力※ (MPa)	呼び径 (mm)
VH	1.25	50～150
VP	1.00	13～300
VM	0.80	350～500
VU	0.60	40～700

※最大使用圧力は参考値であり，VHはAS60, VP,VM, VUはJIS K 6741に規定される値。

表-3-1(2)　ポリ管の種類

記号	最大使用圧力※ (MPa)	呼び径 (mm)
SDR11	1.60	10～550
〃 13.6	1.25	10～700
〃 17	1.00	10～700
〃 21	0.80	10～1100
〃 26	0.63	10～1500
〃 29	0.57	10～1500
〃 33	0.50	10～1500

※最大使用圧力は参考値であり，農水ポリエチレン管協会で規程している値。ここで示される値はISO 4427の考え方(ISO 4427 3.6)に準じたものであり，MRS（長期強度＝50年後に予想される強度)に対して安全率1.25を考慮して設定された値である。この考え方及び安全率は，JIS K 6761 付属書３にも明記されている。

表-3-1(3)　リブ管の種類

記号	最大使用圧力※ (MPa)	呼び径 (mm)
5K	0.50	300～1000
4K	0.40	300～1000
1K	0.10	200～2000

※最大使用圧力は参考値であり，高耐圧ポリエチレン管協会で規程している値。

(7)　単管の有効長

一般市販管の有効長は，JIS など，第 7 条に示す材料の規格を標準とし，工場での製作，輸送制限，支持方式，据付施工，工期等を総合的に検討して決定する。

(8)　既設設備の補修又は取替え

既設水圧管の補修又は取替えについては，第 8 節で規定する。

(設計に用いる内圧)

第 4 条　設計に用いる内圧は，静水圧にサージング及び水撃作用による上昇圧を加算して，起こり得る最大水圧とする。

〔解説〕

一般市販管に作用する内圧には，静水圧の他に，水車の負荷変動に伴うサージングによる水圧変動及び水撃作用による水圧変動がある。

一般市販管はこれらを考慮して起こり得る最大の内圧に対し安全でなければならない。

サージングによる上昇水圧と水撃作用による上昇水圧を加算する場合には，同時点で起こり得る上昇水圧の加算値の最大値をとればよい。

単動サージタンクの場合は，水撃作用による上昇水圧と，サージングによる上昇水

圧は重ならないと考えてよいが，水圧管路の上流部においては「静水圧+サージングによる上昇水圧」が「静水圧+水撃作用による上昇水圧」より大きくなることがあるので注意を要する。

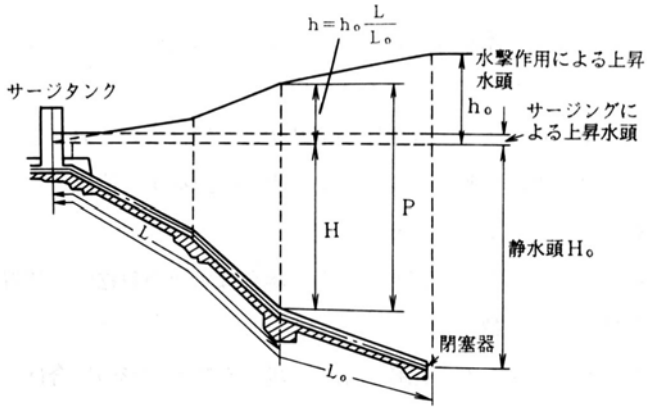


図-4-1　設計に用いる内圧の例(単動サージタンクの例)

(1)　静水圧

静水圧は，流込み式でヘッドタンクに越流頂がある場合はヘッドタンクの越流頂から，越流頂が無い場合は最大取水時のヘッドタンク内での定常時水位から，ダム式又はダム水路式の場合は，貯水池又は調整池の常時満水位から当該箇所の管中心までの標高差恐れぞれ静水圧としてとるものとする。なお，閉塞器位置での水撃作用による上昇水圧の算定に用いる最大静水圧は,水車中心(ペルトン水車の場合はノズルの分岐点中心)までの標高差をとるものとする。

(2)　サージングによる最大上昇水圧

サージングによる最大上昇水圧は，流込み式でヘッドタンクに越流頂がある場合は，全負荷遮断時のヘッドタンクにおける余水の越流水位より越流頂までの標高差とし，越流頂がない場合は，最大取水時の最高水位から定常時の水位までの標高差をとるものとする。また，サージタンクを有する場合は，貯水池又は調整池の発電計画最高水位で全負荷遮断時のサージタンクにおける最高上昇水位から計画最高水位までの標高差をとるものとする。

(3)　水撃作用による上昇水圧

水撃作用による上昇水圧は，サージタンク，閉塞器，制圧機等の機能，管路定数等によって左右されるが,最大値は閉塞器の中心位置において生じ(フランシス水車ではガイドベーン，ペルトン水車ではニードルバルブで最大を生ずるが，一般に計算上は水車中心と仮定する),管路に沿って漸減し,水槽において消滅する。水撃作用による上昇水圧の漸減割合は，同一管径の場合は管路長に比例する。

なお，水撃作用による上昇水圧が消滅する位置は次のとおりとする。

1) ヘッドタンク，単動サージタンク:水面の急拡する位置
2) 差動サージタンク：ライザの越流頂
3) 水室サージタンク：上部水室のある場合は水面の急拡する位置
その他の場合はシャフト越流頂

ただし，サージタンクが比較的細長い場合や制水口形の場合は，サージタンクの基部で水撃圧は消滅しないので計算等により求める必要がある。

ペルトン水車の場合の水車中心の水撃作用による上昇水圧は，計算上は 10%以下であっても 10%以上とっておかなければならない。

また，最大負荷時よりも部分負荷時の方が大きいことがあるので，注意を要する。制圧機のない場合の水撃作用による上昇水圧の計算式は，Allievi の管路定数ρによって次の(A)，(B)に分類される。

記号 $\rho = \dfrac{\alpha V_0}{2gH_0}$ ..... Allievi の管路定数

$\theta = \dfrac{\alpha T}{2L_0}$ ..... 閉塞器の閉鎖時間定数

$n = \dfrac{\rho}{\theta}$

h_0：水撃作用による閉塞器位置における上昇水頭(m)

H_0：水車端における閉塞器全閉後の静水頭(m)

L_0：管路の長さ(m)

$V_0 = \dfrac{\Sigma (V_i \cdot L_i)}{L_0}$: 平均流速(m/s)

L_i：速度 Vi 部分の管長(m)

V_i：ある区間の流速(m/s)

T：閉塞器の閉塞時間(s)

g：重力の加速度(m/s^2)

α：圧力波の伝播速度(m/s)

$$\alpha = \left\{ \rho_w \left(\frac{1}{K} + \frac{D}{Et} \right) \right\}^{-1/2}$$

D：管径(m)

ρ_w：水の密度(kg/m^3)

K：水の体積弾性係数(N/m^2)

E：管材の弾性係数(N/m^2)

t：管厚(m)

(A)　$\rho > 1$ の場合

$$\frac{h_0}{H_0} \geqq 50\% \text{のときは,} \frac{h_0}{H_0} = \frac{n}{2}\left(n + \sqrt{n^2+4}\right) \quad \cdots\cdots (4.1)$$

$$\frac{h_0}{H_0} < 50\% \text{のときは,} \frac{h_0}{H_0} = \frac{2n}{2-n} \quad \cdots\cdots (4.2)$$

$$\frac{h_0}{H_0} \quad 30\% \text{のときは,} \frac{h_0}{H_0} \quad 1.10n \quad \cdots\cdots (4.2)$$

(B)　$\rho < 1$ の場合

$$\frac{h_0}{H_0} = \frac{2n}{1+n(\theta-1)} \quad \cdots\cdots (4.3)$$

(A)及び(B)の条件は Schlag の条件[1)]に近似する条件で，(4.1)式は Allievi 式であり，(4.2)式は Sparre の式[1)]である。また(4.2)及び(4.3)式は Calame-Gaden の式ともいわれている。

また，フランシス水車の場合，(A)及び(B)の条件にわたって使用できる経験式として，次式が提案されている。[1)]

$$\frac{h_0}{H_0} = \left[\frac{0.75}{\theta\sqrt{\theta}} + 1.25\right] n \quad \cdots\cdots (4.4)$$

制圧機の有る場合の水撃作用による上昇水圧は，制圧機の動作状況が明らかであればその効果を考慮して(4.5)式で計算してもよい(既設水圧管を取替える場合には，制圧機の信頼性について十分考慮する必要がある)が，この場合には少なくとも制圧機が無いものとして計算した値の 50%以上としなければならない。

この場合の水撃作用による上昇水圧の計算式は次式のようになる。

$$\frac{h_0}{H_0} = \frac{2\tau}{1-\tau+\frac{1}{\rho}} \quad \cdots\cdots (4.5)$$

ここに，$\tau = \dfrac{\Delta T}{T}$

ΔT：ガイドベーン閉鎖開始時刻と制圧機作動開始時刻の差(s)

ただし，この場合，水車から $L - \dfrac{\alpha \cdot \Delta T}{2}$ の位置までの上昇水位は漸減しない。

水撃作用による上昇水圧の実測値は，水車特性の影響によって 10～15%程度計算値と相違することが多いので，20%程度の余裕をとることが望ましい。ただし，上述の(4.4)式には 20%の余裕が考慮されている。

---

1)秋元徳三，水力発電所における水撃作用について，水門鉄管，No49.1966

また，次のような場合には図式解法あるいは逐次計算を行う必要がある。

1)　分岐管路の場合で,分岐点の位置が管路長さに比べて水車から遠い場合。
(低落差の場合は比較的簡単に算出できる計算式[2)]が提案されている。)

2)　差動形サージタンク等のように,サージングによる水位上昇が速い場合。
(多くの場合，(4.1)～(4.5)式でよい。)

3)　制水口形サージタンクの場合(Jaeger の式[2)]等も用いられる。)

4)　ポンプ水車の場合

なお，本基準(案)で対象とする塩ビ管，ポリ管，リブ管では，鋼材や FRP(M)管に比べて弾性係数が小さいため水撃圧は小さくなる。

[参考]

水撃圧について水道指針では”ダクタイル鋳鉄管，鋼管及びステンレス鋼管では目安として 0.45MPa～0.55MPa が見込まれ，塩ビ管及びポリ管では，管材のヤング率が前記の管材に比べて小さいことから 0.25MPa を見込む”とされている。

(設計に用いる外圧)

第 5 条　設計に用いる外圧は，排水時や管内空虚時のほか，施工時を通じて起こり得る最大圧力とする。

〔解説〕

一般市販管には，一般に次のような外圧が作用する。管はこれらを考慮して起こり得る最大の外圧に対して耐えられる構造としなければならない。

(1)　排水時の外圧

管内水排水時に管内への空気の自由流入が拘束されると，管に負圧が作用する。その場合には，負圧による圧壊を防ぐため，管内外の圧力差が 0.02MPa 以内で，必要な空気量を導入できる空気管又は空気弁を設けるので，外圧は管内外の圧力差 0.02MPa を考慮するものとする。

ただし，排水時に空気が自由に流入し，負圧を生ずる恐れがない場合にはこの必要はない。

---

2)秋元徳三，分岐管のある水圧管における水圧上昇率略算式，水門鉄管，No51.1967

(2)　管内空虚時の外圧

埋設形式では，地山の浸透水圧が外圧として作用する。地山の浸透水圧は，予想される地下水位による外圧とするが，水圧管の周辺に排水設備を設置して外圧を減少させる措置を行えば，設計圧力を減らすことができる。

土中埋設形式では，土圧，載荷重，雪荷重が外圧として作用する。設置高さが想定される地下水位より低い場合は，浮力も考慮する必要がある。

(3)　施工時の外圧

土中埋設形式の場合は，施工時の土の締固め及び内部支保工等の検討を行う必要がある。

(損失水頭)

第 6 条　損失水頭は，できるだけ小さくなるように設計する。

〔解説〕

発電所の損失落差全体に占める水圧管路の損失水頭の割合はかなり大きい。発電所の経済性は第 3 条解説(6)のように，有効出力，有効電力量に基づく年間効用を基本として評価され，損失水頭はこれと大きく関わるので，管径を増大させても，損失水頭の減少によって総合経済性を高められる場合がある。

特に，低落差の発電計画では，経済性に及ぼす損失水頭の影響が大きいので注意を要する。

水圧管路の損失水頭は，摩擦損失のほか，継手，流入，漸縮，漸拡，曲り，分岐，合流，制水弁等の構造にもかなり影響されるので，これらの構造についてはできるだけ損失水頭が小さくなるように設計する。

一般市販管の主な損失水頭は下記によって算出する。

(1)　摩擦による損失水頭

$$h_f = f' \cdot \frac{L}{R} \cdot \frac{V^2}{2g} \qquad f' = \frac{2g \cdot n^2}{R^{1/3}}$$

ここに，h_f：摩擦による損失水頭(m)

n：Kutter(クッタ)の粗度係数($m^{-1/3} \cdot s$)

L：管路の長さ(m)

V：流速(m/s)

R：管路の径深(m)

g：重力の加速度(m/s^2)

特に円形断面の場合，Ｄを管内径とすると $\frac{f'}{R}=\frac{124.5n^2}{D^{4/3}}$ である。

本基準(案)で対象とする一般市販管の粗度係数(n)は以下の程度とされている。

1)　塩ビ管の粗度係数は 0.010（下水道施設計画・設計指針）

2)　ポリ管及びリブ管は 0.010（メーカー試験値）

なお，FRP(M)管の粗度係数は 0.010～0.012(水門鉄管基準 FRP(M)水圧管編)，鋼管は 0.010～0.014(水門鉄管基準 水圧鉄管編)，PC 管は 0.013(下水道施設計画・設計指針)又は 0.010（日本大学実験報告書）とされている。

また，水道指針及び農林基準では，摩擦による損失水頭をヘーゼン・ウィリアムス公式により求めることを基本としている。この場合，塩ビ管，ポリ管，リブ管及び FRP(M)管の流速係数©は 150（φ150 以下は 140），鋼管及び PC 管は 130 とされている。

(2)　継手による損失

一般市販管の通常の継手による損失は，無視することができる。

しかし，継手の溝が管内径に対して相対的に深く長い場合は，急拡，急縮による損失水頭の算定が必要となる。また，この損失水頭を軽減するために，管内面から溝を覆うスペーサの設置も考えられるが，慎重な検討が必要である。

(3)　流入，漸縮，漸拡，曲りによる損失水頭

流入，漸縮，漸拡，曲りによる損失水頭は表-6-1 によるものとする。

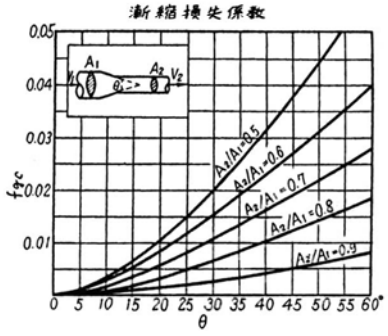
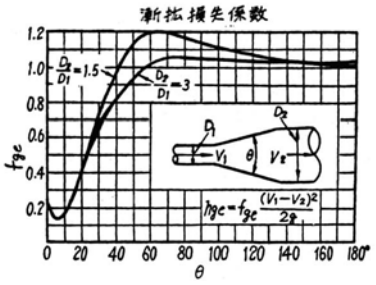
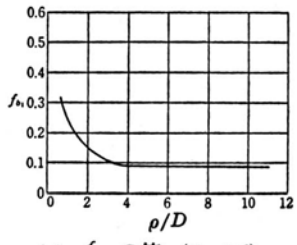
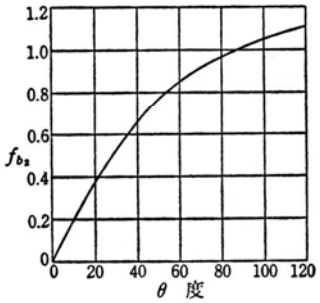
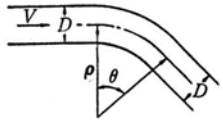
(4)　その他の損失

分岐，合流，制水弁等による損失があるが，水圧鉄管と同様とする。

弁の損失水頭は，その構造及び運用によって水理特性が異なるため，適切な損失係数を確認するものとする。

また，継手やマンホール等の部分にもわずかの損失水頭が生ずるので，損失水頭の総和に若干の余裕を加えることが望ましい。

表-6-1　損失水頭

損失水頭の種類	計　　算　　式	摘　　要
(1) 流入による損失水頭	$h_e=f_e\cdot\frac{V^2}{2g}$ h_e：流入による損失水頭 f_e：流入損失係数 V：流入後の流速	流入口形状 / f_e 角端 / 0.5 隅切り / 0.25 丸味つき（円形） / 0.1 〃（方形） / 0.2 $\frac{1}{4}$長円のベルマウス / 0.01～0.05
(2) 漸縮による損失水頭	$h_{gc}=f_{gc}\frac{V^2}{2g}$ h_{gc}：漸縮による損失水頭 f_{gc}：漸縮損失係数 V：漸縮後の流速	
(3) 漸拡による損失水頭	$h_{ge}=f_{ge}\frac{(V_1-V_2)^2}{2g}$ h_{ge}：漸拡による損失水頭 f_{ge}：漸拡損失係数 V_1：漸拡前の流速 V_2：漸拡後の流速	
(4) 曲りによる損失水頭	$h_b=f_{b1}\cdot f_{b2}\cdot\frac{V^2}{2g}$ h_b：曲りによる損失水頭 f_{b1}：曲りの曲率半径ρと管径Dとの比(ρ/D)によって決まる損失係数，但し曲りの中心角が90°の場合（図―(a)） f_{b2}：任意の曲り中心角θの場合の損失と中心角90°の場合の損失の比　（図―(b)） V：流速 f_{b1}，f_{b2}については次の実験式がしばしば用いられる。 $f_{b1}=0.131+0.1632\left(\frac{D}{\rho}\right)^{7/2}$ $f_{b2}=\left(\frac{\theta°}{90°}\right)^{1/2}$ なお，上式で与えられるh_bには摩擦損失水頭は含まない。	 (a)　f_{b1} の値　($\theta=90°$)  (b)　f_{b2} の値 

第3節　材　　料

(主要耐圧部の材料)

第7条　主要耐圧部に使用する材料を表-7-1に示す。

表-7-1 主要耐圧部に使用する材料

管種		規格	口径（呼び径）
塩ビ管	硬質塩化ビニル管	JIS K 6741 (2004)	13～700㎜
	水道用硬質塩化ビニル管	JIS K 6742 (2004)	13～150㎜
	水道用ゴム輪形硬質塩化ビニル管	JWWA K 127 (2004)	50～150㎜
	水道用ゴム輪形耐衝撃性硬質塩化ビニル管	JWWA K 129 (2004)	50～150㎜
	水道用ゴム輪形硬質塩化ビニル管	AS 31 (2001)	125～300㎜
	水道用ゴム輪形耐衝撃性硬質塩化ビニル管	AS 33 (2001)	125～300㎜
	農業用水用厚肉硬質塩化ビニル管	AS 60 (2000)	50～150㎜
ポリ管	一般用ポリエチレン管	JIS K 6761 (2004)	10～300㎜
	水道用ポリエチレン2層管	JIS K 6762 (2004)	13～50㎜
	農業用高密度ポリエチレン管	農水ポリエチレン管協会規格(ISO 4427(1996))	250～1500㎜
リブ管	耐圧ポリエチレンリブ管	JIS K 6780 (2003)	200～2000㎜
	内圧用高耐圧ポリエチレン管（ハウエル管）	高耐圧ポリエチレン管協会規格　(2005)	300～1000㎜

〔解説〕

1．一般市販管の採用にあたっては，使用材料の性質が明確なものを使用する必要があり，製作に先立ち使用材料の材料検査を行って，JIS 又は当該規格に合格していることを確かめなければならない。ただし，その材料が製作工場において実施された材料の成績試験表によって明らかにされているものについては，その成績表をもって材料試験に変えることができる。本条の材料試験は，強度のみならず，寸法(厚さ)が許容値内にあるか否かの試験も含むものである。

また，表-7-1に示す材料で，詳しく規定されていない仕様（例えば，継手の水密性など）については，計画地点の条件に応じて，第32条など，本基準(案)の各条項に適合することを確認しなければならない。

2．表-7-1 中のに示す耐圧ポリエチレンリブ管（JIS K 6780 (2003)）のゴム輪継手（ガスケット接合）の管は外圧管としての規定であるが，高耐圧ポリエチレン管協会が内圧用に使用可能なことを確認したうえ，農業用や下水道用の内圧管として使用している(1K種，最大使用圧力 0.1MPa)ことから使用材料として取り入れることにした。

3．ポリ管及びリブ管の原材料は，PE100又はPE80に分類される高密度ポリエチレンを基本とする。

ここで，PE100とは，ISO 9080(1998)の方法1を用い，20℃で50年外挿下方信頼性限界(LCL)を用いたときの最小要求強度(MRS)が10.0MPaであるポリエチレンである。また，PE80は，同様の最小要求強度(MRS)が8.0MPaとなるポリエチレンである。

4. 本基準(案)で対象とする一般市販管の製造方法は以下のとおりである。

1) 塩ビ管；押出成形法
2) ポリ管；押出成形法
3) リブ管；スパイラルワインディング押出成形法

塩ビ管及びポリ管の製造方法である押し出し成形法は,パイプなどのようなエンドレスの長尺物を連続成形する方法であり，原材料を加熱シリンダ（バレル）内へ送り込み，加熱流動化させ，先端のダイ（原料の通過断面穴を持った金型）を通過させて形を与え，これを水又は空気で冷却固化させて成形する方法である（図-7-1参照）。

一方,リブ管の製造方法であるスパイラルワインディング押出成形法は，原材料を押出機にて加熱溶融し，口金より押し出すと共に回転中の筒状芯金の周囲に巻き付け成形する方法である（図-7-2参照）。

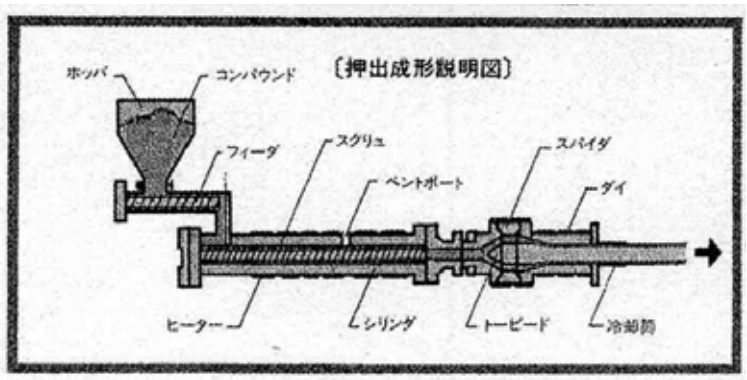


図-7-1 押出成形法

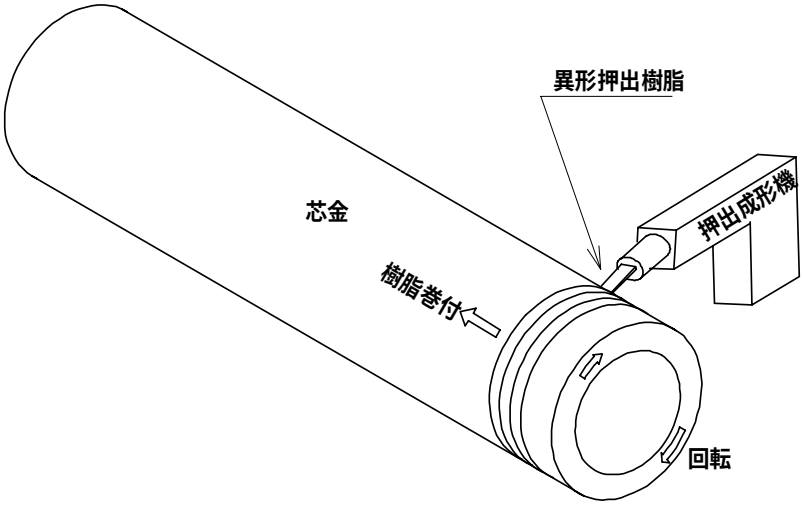


図-7-2 スパイラルワインディング押出成形法

(付属設備の材料)

第 8 条　付属設備に使用する材料は，次のとおりとする。

(1)　継手：第 7 条に定める材料（水密ゴムを除く）又はこれと同等以上のもの

(2)　主要耐圧部と密接な関係のあるもの：第 7 条に定める材料と同等以上のもの

(3)　水密ゴム：JIS K 6353(1991)「水道用ゴム」又はこれと同等以上のもの

〔解説〕

継手には，塩ビ管やリブ管のような主要耐圧部と一体に形成される「ソケット形」と，ポリ管の場合のように別個に整形される「スリーブ形」があり，ポリ管やリブ管では，接合部を溶接（融着）する直接継手がある。いずれも主要耐圧部と密接な関係を持ち，それと同等の機能及び強度が要求されるため，主要耐圧部と同様に第 7 条に定める材料，又はこれと同等以上の性質を有する材料とする。

継手については，第 47 条解説，第 51 条解説，第 53 条解説に従って必要な試験を実施し，その強度及び水密性を確認する。なお，この場合，管の製作工場が各種試験を実施し，それぞれのデータ（強度，物性値等）を的確に把握している場合は，試験を省略することができる。

主要耐圧部と特に密接な関係のある設備については，主要耐圧部と一体となって荷重に対応するため，主要耐圧部と同様に第 7 条に定める材料と同等以上の性質を有する材料とする。

水密ゴムは，機械的性質が JIS K 6353(1991)「水道用ゴム」に合致するものとする。

アンカバンド等，主要耐圧部に直接取付けないその他の付属設備は，通常は鋼材を使用するので，「水門鉄管技術基準，水圧鉄管･鉄構構造物編」に定める材料によるものとする。

(材料試験)

第 9 条　第 7 条 表-7-1 の材料を使用する場合の材料試験・検査及び表示の方法は，それぞれ使用材料の規格に規定された方法で行う。

ただし，一般市販管の製作工場において，あらかじめこれらの強度試験結果が得られている場合は，試験を省略することができる。

〔解説〕

1．　材料試験は，製品から採取した試験片，試験管又は製品そのものについて行うもので，基本的に引張，クリープ試験等となる。試験項目，試験方法については，対

象一般市販管に適用される JIS 又は当該規格による。

材料試験方法としては，例えば以下に示すものがある。

1) プラスチック-引張特性の試験方法　　JIS K 7161(1994)
2) プラスチック-曲げ特性の試験方法　　JIS K 7171（1994）

2.一般市販管の管種や管厚を設計する際の基礎となるデータは，当該規格で規定される引張強度，クリープ特性などのほか，圧縮強度，せん断強度，曲げ強度などの機械的強度，及び，弾性係数，ポアソン比などが必要となる。これらのデータは，本来，試験により得られるものであるため，試験の実施によって確認しておく必要がある。しかし，通常，一般市販管の製作工場においては，JIS などの当該規格に適合させるために各種試験を実施し，それぞれのデータ（強度，物理定数等）を的確に把握している場合が多い。したがって，あらかじめこれらのデータが得られている場合は，試験を省略することができる。

3.工場で管製品について行う試験（内圧，外圧，継手試験など）及び検査は，第 47 条の規定によるものとする。

第4節　主要耐圧部の設計

第１　一般事項

(設計の原則)

第 10 条　主要耐圧部の設計は，許容応力度設計法によって行う。

〔解説〕

本基準(案)で対象とする一般市販管による水圧管路の主要耐圧部の設計は許容応力度設計法によって行うものとする。許容応力度設計法は，管に生じる応力を計算し，それが許容値内にあることを照査するものである。

主要耐圧部の設計は，一般市販管による水圧管路の支持形式によって設計条件が異なるので，それぞれ次の各節の規定に準拠して行うものとする。

露出形式水圧管　　；　第 4 節　第 2

土中埋設形式水圧管　；　第 4 節　第 3

(余裕厚)

第 11 条　設計にあたっては，強酸性又は強アルカリ性の地盤や流水に対応させる場合，並びに特に流砂量が多いような場合を除き，腐食や摩耗に対する余裕厚を考慮しない。

〔解説〕

水圧鉄管では，腐食や摩耗による管厚の減少を考慮して余裕厚を考慮する必要がある。

しかし，本基準(案)で対象とする一般市販管による水圧管路では，以下の理由により余裕厚を考慮しないものとした。

1)　当該一般市販管（塩ビ管，ポリ管及びリブ管）は腐食し難い材質である。
2)　摩耗に関する既往の試験結果(『下水道用高密度ポリエチレン管　建設技術審査証明　報告書（参考資料)』他）では，塩ビ管，ポリ管及びリブ管の耐摩耗性が鋼管や FRP(M)に比べて同等以上と報告されている。
3)　水圧管路として一般市販管を採用した実績の多い水道分野（水道指針）や農林分野（農林基準）では，腐食及び摩耗に関する余裕厚を考慮していない。

なお，強酸性又は強アルカリ性の地盤や流水に対応させる場合，並びに特に流砂量が多いような場合には，別途，腐食や摩耗に対する余裕厚の必要性及びその厚さに関する検討を行い，適切な余裕厚を考慮するものとする。

摩耗に対する考慮については第 22 条によるものとする。

(設計に用いる寸法)

第 12 条　設計に用いる寸法には，公差を考慮する。

〔解説〕

1．本基準(案)で対象とする一般市販管は，JIS 又は当該規格において寸法及び公差(許容差)が規定されており,管の製造においては設計値に対して公差が適用される。

設計に用いる寸法としては，この公差を考慮し，管厚公差（許容差）下限値で応力計算を実施するものとする。

2．第 11 条解説に準じて余裕厚を考慮する場合は，管厚公差（許容差）下限値から余裕厚を控除した板厚により応力計算を実施するものとする。

(継手効率)

第 13 条　継手効率は考慮しない。

〔解説〕

本基準(案)で対象とする一般市販管による水圧管路においては，ポリ管及びリブ管の融着継手に対して継手効率が問題となる。しかし，継手効率については協会やメーカーの継手強度試験によって，継手が本体部と同等以上の強度を有することを確認していること，及び，水圧管路として一般市販管を対象としている水道指針や農林基準においても継手効率を問題としていないことから,継手効率は考慮しないものとした。

なお，第 9 条，第 32 条，第 47 条，第 51 条，第 53 条の規定に準じて継手に関する試験を実施し，その強度や水密性を確認しなければならない。

(設計に用いる物性値)

第 14 条　設計に用いる物性値は，次のいずれかによる。

(1)　試験値

(2)　使用材料の JIS 又は該当規格の規定値

〔解説〕

1．一般市販管による水圧管路の設計では，主に以下の基本的物性が必要になる。

物理定数　；弾性係数，ポアソン比，比重（密度），線膨張係数

機械的強度　；引張強度，曲げ強度，せん断強度，圧縮強度

本基準(案)で対象とする一般市販管の物性値は,実測によって求めるか(試験値),使用材料の JIS 又は当該規格の規定値を用いるものとする。ただし，一般市販管の製作工場において，JIS などの当該規格に適合させるための各種試験が実施され,

それぞれのデータ（各種物性値）が的確に把握されている場合は，その値を用いることができる。

2.本基準(案)で対象とする一般市販管の物性値の一例を以下に示す。なお，一般市販管の物性値は温度やクリープにより大きく変動するため，十分に注意する必要がある。一般に,温度が高いほど強度は低下し,クリープにより長期強度が低下する傾向を示す。温度に対しては使用環境を適切に評価して一般市販管による水圧管路の設計に用いる物性値を決定する必要があり，また，クリープによる長期強度の低下も考慮する必要がある（第 17 条参照)。

表-14-1 物性値の一例

		単位	塩ビ管	ポリ管	リブ管
試験温度		℃	15	20	23
物理定数	弾性係数	MPa	2,750	830	750～1000
	ポアソン比	---	0.38	0.37	0.3～0.48
	比重	---	1.43	0.95	0.95～0.96
	線膨張係数	1/℃	$6～7\times10^{-5}$	$11～13\times10^{-5}$	$11～13\times10^{-5}$
機械的強度	短期引張強度	MPa	49	22.6	24～32.3
	短期曲げ強度	MPa	88.5	34.3	24～32.3
備考			塩化ビニル管･継手協会	農水ポリエチレン管協会	高耐圧ポリエチレン管協会

注）;短期引張強さ, 短期曲げ強さ:製造後の基準強度であり, クリープの影響を受けていない強度)
(参考:長期強度:クリープの影響を考慮した50年後の期待強度)

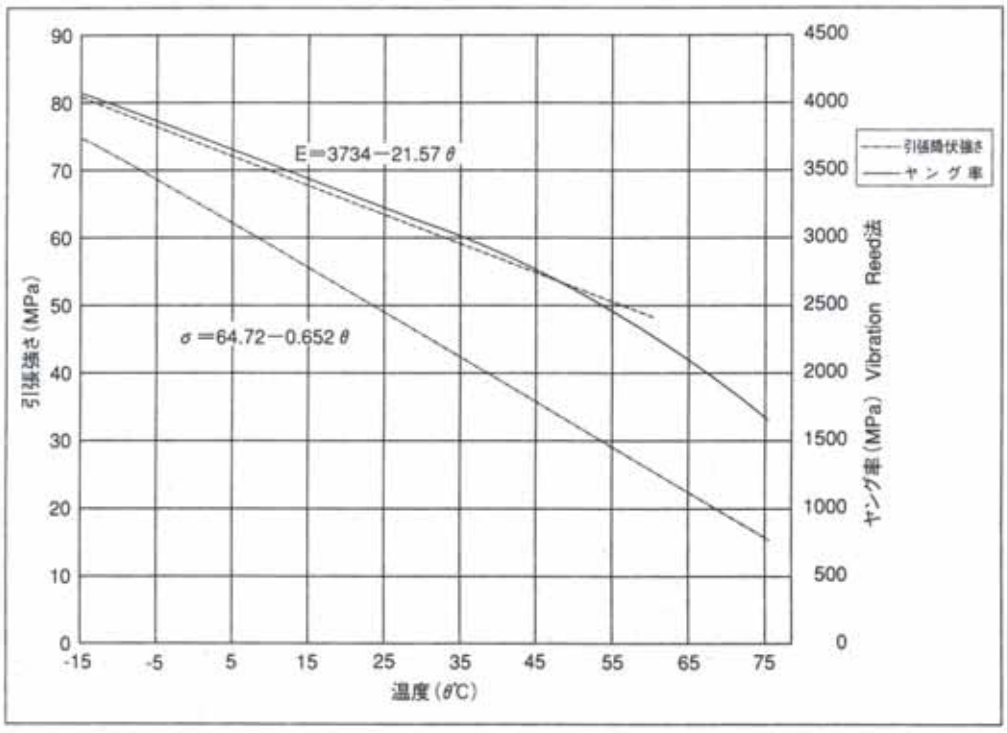


図-14-1 塩ビ管における引張強さ及び弾性係数(ヤング率)の温度依存性の一例 [1)]

1) 水道用硬質塩化ビニル管　技術資料＜規格・設計編＞　塩化ビニル管・継手協会，平成 13 年 4 月

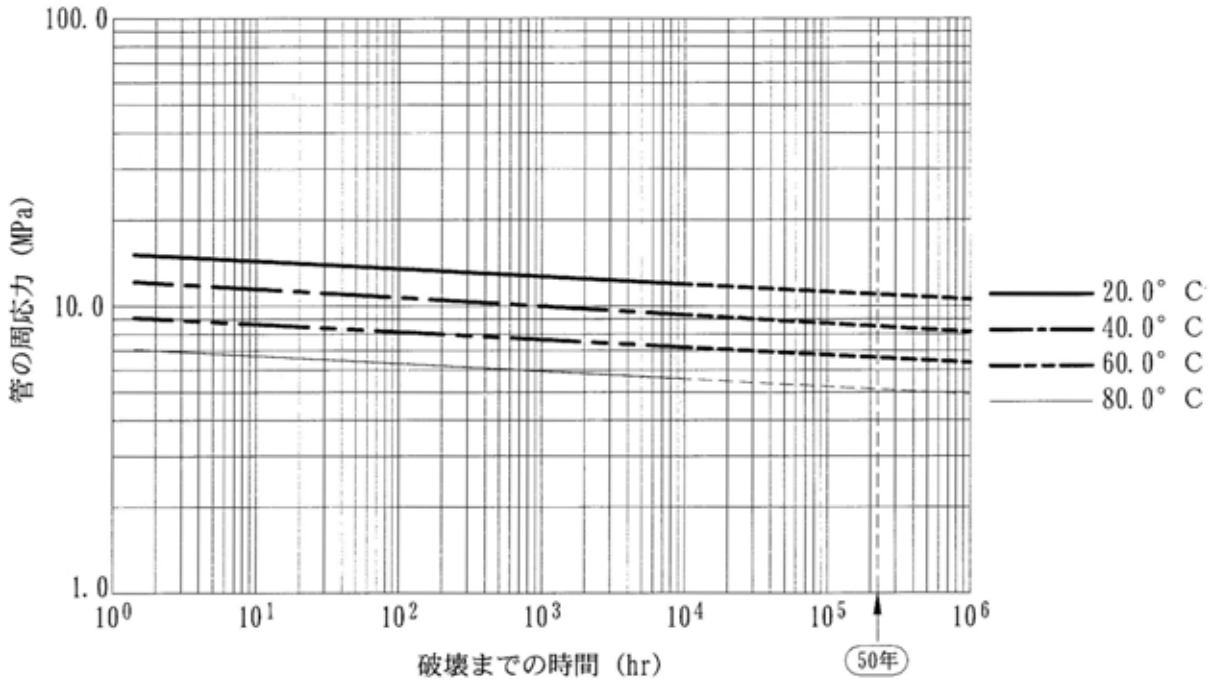


図-14-2 ポリ管における応力のクリープ特性の一例 [2)]

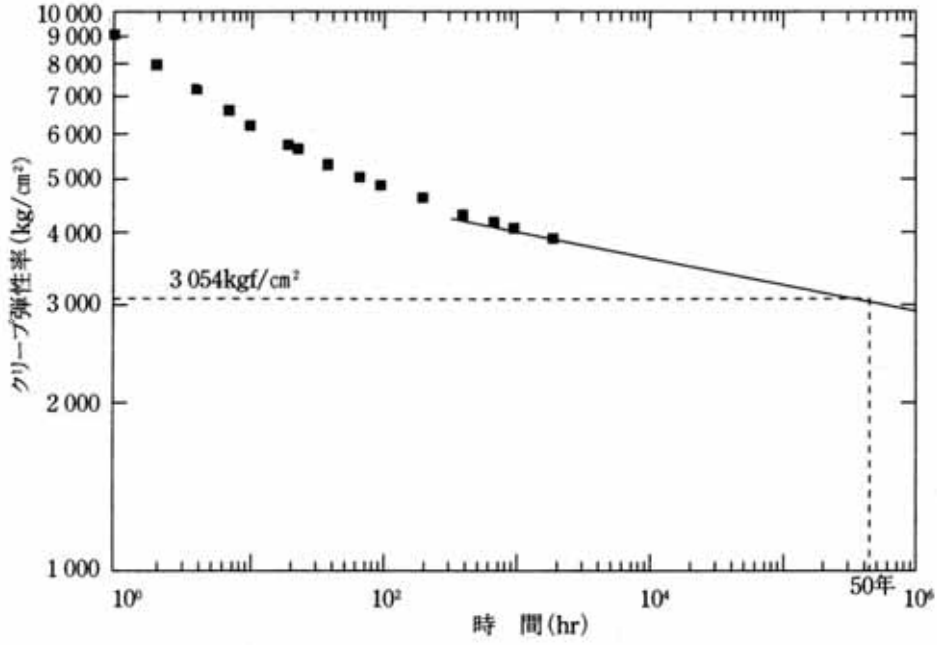


図-14-3 リブ管における弾性係数（ヤング率）のクリープ特性の一例 [3)]

---

2) 水道配水用ポリエチレン管及び管継手　材料マニュアル　水道用ポリエチレンパイプシステム研究会　平成 13 年 4 月
3) JSWAS 下水同様リブ付ポリエチレン管　参考資料　(社)日本下水道協会　平成 13 年 5 月

(考慮する荷重)

第 15 条　主要耐圧部は，次の荷重に対して安全であるように設計しなければならない。

一　露出形式水圧管の場合

内圧，管の質量，管内水の質量，雪荷重，温度変化，地震力，風圧，排水時外圧

二　土中埋設形式水圧管の場合

内圧，管内水の質量，土圧，載荷重，雪荷重，温度変化，排水時外圧

〔解説〕

主要耐圧部の管厚を決定する要素は，内圧による円周方向の引張応力が主要なものであるが，その他の荷重も管厚に大きな影響を及ぼす場合がある。同種の荷重であっても，それが管厚等に及ぼす影響の大小は一般市販管の支持形式により大きく異なるので，詳細はそれぞれ次の各条の解説による。

1)　露出形式一般市販管による水圧管路の場合　　：第 23 条

2)　土中埋設形式一般市販管による水圧管路の場合　　：第 27 条

露出形式一般市販管による水圧管路の場合，地震力，風圧は一般に主要耐圧部に直接与える影響が少ないので,通常は支台の設計に対して考慮すればよい(第 44 条参照)。

雪荷重については，本基準(案)で対象とする一般市販管の熱伝導率が小さいことから，通水中でも管内水の熱伝導による管周辺の融雪効果はさほど期待できないと考えられる場合には，これを考慮する。

本基準(案)で対象とする一般市販管（塩ビ管，ポリ管，リブ管）の場合，一般的な鋼材や FRP(M)に比べて線膨張係数が大きいため，露出配管とする場合は温度変化に十分に配慮しなければならない。

(荷重の組合せ)

第 16 条　前条の荷重は，次の各号の組合せについて設計しなければならない。

一　露出形式一般市販管による水圧管路の場合

(1)　管内満水時：内圧，管の質量，管内水の質量，雪荷重，温度変化，地震力，風圧

(2)　管内充水時：管内水の質量

(3)　管内空虚時：排水時外圧，雪荷重，風圧

二　土中埋設形式一般市販管による水圧管路の場合

(1)　管内満水時：内圧，管内水の質量，土圧，載荷重，雪荷重，温度変化

(2)　管内充水時：管内水の質量，土圧，載荷重，雪荷重

(3)　管内空虚時：土圧，載荷重，雪荷重，排水時外圧

〔解説〕

一般市販管は，その状態に応じた荷重の組合せについて設計しなければならない。ここでいう状態とは，管内満水時，管内充水時，管内空虚時をさす。

管内満水時とは，管内が完全に水で満たされており設計内圧が作用している状態をいう。

管内充水時とは，充水中又は排水中の状態をいうものであり，注目している断面での管内には部分的に水が入っているか，又は充水中で丁度満水の状態をさす。

管内空虚時とは，管内が空の状態をさす。注目している断面では管内は完全に空虚であるが，それより下流側はまだ排水中である状態もこれに含む。

各状態で考えるべき荷重の組合せは水圧管の管路形式により異なるので，それぞれ次の各条の解説による。

1)　露出形式一般市販管による水圧管路の場合　：第 24 条

2)　土中埋設形式一般市販管による水圧管路の場合　：第 28 条

(許容応力)

第 17 条　設計に用いる許容応力は，第 14 条による一般市販管の強度を適切な安全率で除して求める。

〔解説〕

1.　一般に，構造物の安全率はその使用条件（作用荷重の性質及び大きさ，環境，使用期間，その他），使用材料の性質（強度，変形性能，その他），設計計算の精度（求める作用応力の種類，計算方法，その他），製造条件（製造方法，その他），検査条件（検査方法，検査の程度，その他），等の因子を総合的に勘案して決定される。

これらの安全率に寄与する因子は，適用対象となる地点ごとに異なることから，一般市販管による水圧管路の設計計算に用いる安全率は，各地点の状況に応じて，これらの要因を考慮したうえで設計者が判断し，決定する必要がある。

一般市販管による水圧管路を本基準(案)に従って設計する場合は，短期引張強度（製造後の強度＝クリープの影響を受けていない材料の強度）に対して以下の安全率を用いてよい。

設計内圧により発生する引張周方向応力に対して　；　安全率　4
外圧による曲げ応力に対して　；　安全率　2.5

ここで,上記安全率は水道指針において解説されている値にほぼ等しい。水道指針では，内圧による応力と外圧による応力を別々に評価する条件で，長期強度（管が20℃で 50 年後に予想される強度）に対する安全率を，塩ビ管に対して 2.3 程度，ポリ管に対して 2.0 程度としている。

一方，長期強度は短期強度のほぼ 1/2 と考えられるため，短期強度をもとに長期強度を想定するためには，短期強度に対して 2.0 程度の安全率を考慮すればよい。したがって，長期強度に対する安全率を 2 とした場合，短期強度に対しての安全率は 4 程度となる。

また，外圧による曲げ応力に対しては，水道指針においても短期引張強度に対して安全率 2.5 としている。

なお，水道指針ではリブ管に対する安全率を示していないが，ポリ管と同じ高密度ポリエチレンを基本材料としており，管材としての基本的な材料特性や物理定数も同程度である。したがって，安全率についてもポリ管と同値とし，特に区分しないこととした。

2. 本基準(案)で対象とする塩ビ管，ポリ管，リブ管はとう性管であり，たわみ率から管厚を求める必要がある。この際に必要となる許容たわみ率及び設計たわみ率については第 30 条(表-30-5)を参照とする。この値は FRP(M)編の第 37 条（土中埋設管の外圧に関する規定）に示される値と同じであり，農林基準及び水道指針とも同値である。なお，水道指針では許容たわみ率を規定しているものの，設計たわみ率に関する記述はない。

(許容応力の割増)

第 18 条　主要耐圧部の設計においては，荷重の性質に応じて，下表に示す係数を乗じた値まで許容応力を割増しすることができる。

表-18-1　許容応力の割増し係数

区　分	常時荷重	一時荷重
管内満水時	1.0	1.5
管内充水時	1.5	1.5

注）　常時荷重；内圧，管の質量，管内水の質量，土圧，載荷重，雪荷重，温度荷重
一時荷重；風荷重，地震力

〔解説〕

水圧管路としての機能を考慮し，荷重の性質に応じ許容応力の割増しを行ってよいものとする。すなわち，管内満水時の一時荷重に対する許容応力は，常時荷の場合の許容応力に対して 1.5 倍の割増しをすることができる。また，管内充水時の許容応力は，管内満水時の常時荷重の場合の許容応力に対して 1.5 倍の割増しをすることができる。

(主要耐圧部の設計)

第 19 条　主要耐圧部は，第 16 条の荷重に対して次の各号の条件に適合するように設計しなければならない。

(1)　各方向の応力がそれぞれの許容応力以下であること

(2)　たわみ量が許容たわみ量以下であること

〔解説〕

一般市販管による水圧管路の応力照査においては,円周方向応力の照査を基本とし，さらに管軸方向応力及びせん断応力について照査して，それぞれが許容応力以下でなければならない（26，30 条を参照)。

ここで,本基準(案)で対象とする一般市販管は弾性係数が小さく，管厚中心直径の数%までたわんでも実質的に損傷を起こさない特性を有している。しかし，水平たわみ量⊿X が大きくなると，継手から漏水が発生する可能性がある。このため農林基準や水道指針の考え方に準じて，過度なたわみを防止するためたわみ量を制限することとし，許容たわみ率を定めて，管厚中心直径 2R に対する率δ（＝⊿X/2R×100（%））で表すこととした。

たわみに関する計算は，第 30 条解説を参照とする。

なお，鋼管や FRP(M)管では，管内空虚時において管胴に作用する外圧の 1.5 倍が作用しても座屈しないことを確認することとされている。しかし，上記のように，本基準(案)で対象とする一般市販管は弾性係数が小さく，管厚中心直径の数%まで撓んで

も実質的に損傷を起こさない。したがって，管内空虚時の外圧については，たわみ率を許容値以下にすることで安全性を確認することとする。なお，水圧管路として一般市販管を対象としている水道指針や農林基準においては，管内空虚時に対応した座屈に関する検討を行っていない。

ただし，空虚となる期間が比較的長く，施設の重要度が特に高い場合など，空虚時外圧に対する確認が必要と判断される場合には，適切な構造計算（解析）により，座屈しないことを確認するものとする。

（振動に対する考慮）

第 20 条　主要耐圧部は，発電所の運転に支障をきたす恐れのある振動が発生しないように設計しなければならない。

〔解説〕

一般市販管による水圧管路の振動には，管壁の曲げ振動と梁としての横振動とがある。水車や吸出管に水圧変動が発生し，その振動数が一般市販管の固有振動数と一致すると共振して顕著な振動を生ずる。一般市販管の振動が著しい場合には，疲労等の恐れがあるので，振動の防止等適切な対策を図らなければならない。

水圧の変動の発生要因としては主に次のものがあげられる。

1)　水車の回転数によるもの
2)　ランナの羽根枚数によるもの
3)　吸出管内の水の旋回流によるもの

振動を防止するためには，一般市販管による水圧管路だけでなく水車等の設計においても振動防止への配慮が必要である。設計段階においては，水圧管の固有振動数を算出し，それが前述した水圧変動の振動数の推定値の近傍にないことを確認する必要がある。

水圧変動の発生要因としては前述以外のものもあり，また，振動数の正確な予想は困難な場合が多く，かつ，微妙な条件により変動するので，設計の段階において一般市販管の固有振動数の計算値と水圧変動の振動数の推定値とに隔たりがあっても，建設後実際には振動が発生することもある。このような場合には，第 58 条に従って振動の軽減を図らなければならない。

(使用環境に対する考慮)

第 21 条　主要耐圧部は，使用環境によって著しい材質の劣化が発生しないように設計しなければならない。

〔解説〕

1．一般市販管による水圧管路に影響を及ぼす可能性のある使用環境としては，火山地帯などで見られる酸性水，露出形式の場合の紫外線等がある。一般市販管による水圧管路は，これらの使用環境においても著しい材質の劣化等が発生しないように設計しなければならない。

本基準(案)で対象とする一般市販管は，酸性やアルカリ水などに対する耐薬品性に優れることが知られている。したがって，一般的な使用状況においては，酸性やアルカリ水などは問題とならない。ただし，特に強い酸性やアルカリ性の水あるいは土壌に対応する場合は余裕厚などを考慮しなければならない。

2．塩ビ管については紫外線による劣化（強度低下）が懸念されるため，露出配管とする場合は適切な紫外線対策を施さなければならない。なお，なお，ポリ管及びリブ管については，JIS に規定されるカーボンブラックの配合によって，紫外線への対応が施されている。

3．本基準(案)で対象とする一般市販管は，線膨張係数が大きいため，温度変化，固定部や他の管との接合部の設計，継手の構造（伸縮継手を設けないなど）形式などについて適切に対応する必要がある。

4．本基準(案)で対象とする一般市販管は，高温になるほど材料強度が低下する傾向があるため，温度が高くなる場合は適切な材料強度を設定する必要がある。

一方，低温に対しては，塩ビ管の場合に耐衝撃性が低下する。また，止水時には管内の水が凍結する可能性があるため,寒冷地では凍結深以下への埋設を基本とし，露出しなければならない箇所には適切な対応が必要となる。

(摩耗に対する考慮)

第 22 条　主要耐圧部は，管胴の摩耗が著しいと予想される場合には余裕厚を確保するなど，適切に設計しなければならない。

〔解説〕

本基準(案)で対象とする一般市販管は，耐摩耗性に優れた特性を持つことが試験により確認されているが，特に摩耗が予想される場合には余裕厚(摩耗代) を確保し，その余裕厚を控除して板厚の応力計算を行う必要がある。

本基準(案)で対象とする一般市販管の耐摩耗性に関する検討は，塩化ビニル管・継手協会[1)]，(財)下水道新技術推進機構[2)]，(財)土木研究センター[3)]などの報告書などで公表されており，その結果から塩ビ管，ポリ管，リブ管の耐摩耗性は鋼管や FRP(M) に比べて同等以上であることが確認されている。

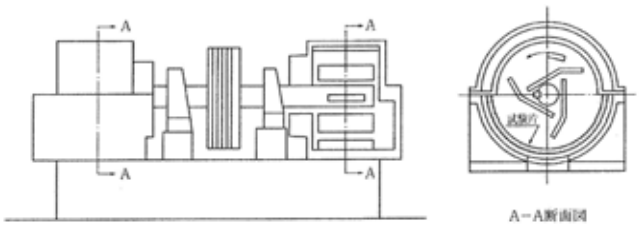


図-22-1 耐摩耗試験機の例 [1)]

表-22-1 摩耗量と摩耗率の例 [1)]

管　種	摩　耗					
	1時間後		2時間後		3時間後	
	量（mm）	(%)	量（mm）	(%)	量（mm）	(%)
硬質塩化ビニル管	**0.004**	**0.06**	**0.009**	**0.12**	**0.013**	**0.18**
遠心力鉄筋コンクリート管	0.068	0.25	0.136	0.50	0.204	0.75
厚陶管	0.039	0.18	0.077	0.37	0.116	0.55

1）塩化ビニル管・継手協会　「下水道用硬質塩化ビニル管技術資料」　4.4　耐摩耗性（P19）
2）(財)下水道新技術推進機構　「下水道用高密度ポリエチレン管　建設技術審査証明（下水道技術）　報告書　添付資料 4，5（広島大学報告書 『ポリエチレン管の耐摩耗性』）
3）(財)土木研究センター　「高耐圧ポリエチレン管　技術審査証明報告書」　6.2 耐摩耗性

項　目	試験条件
試験液	イオン交換水、3%NaCl
PH	7
温度	20℃
衝突粒子	SiO_2（砂の主成分）
粒子径	200～300μm
粒子濃度	25wt%
衝突速度	約 2m/s
衝突角度	20～90°

項　目	記号
鉄	Fe
鋳鉄	FC
高密度ポリエチレン※	HDPE
架橋高密度ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ	PXE
高密度ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ(A)	PE100(A)
高密度ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ(B)	PE100(B)
中密度ポリエチレン	MDPE
低密度ポリエチレン	LDPE
直鎖状低密度ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ	LLDPE
塩化ビニル樹脂	PVC
フェノール樹脂	PF
ガラス繊維強化樹脂	FRP

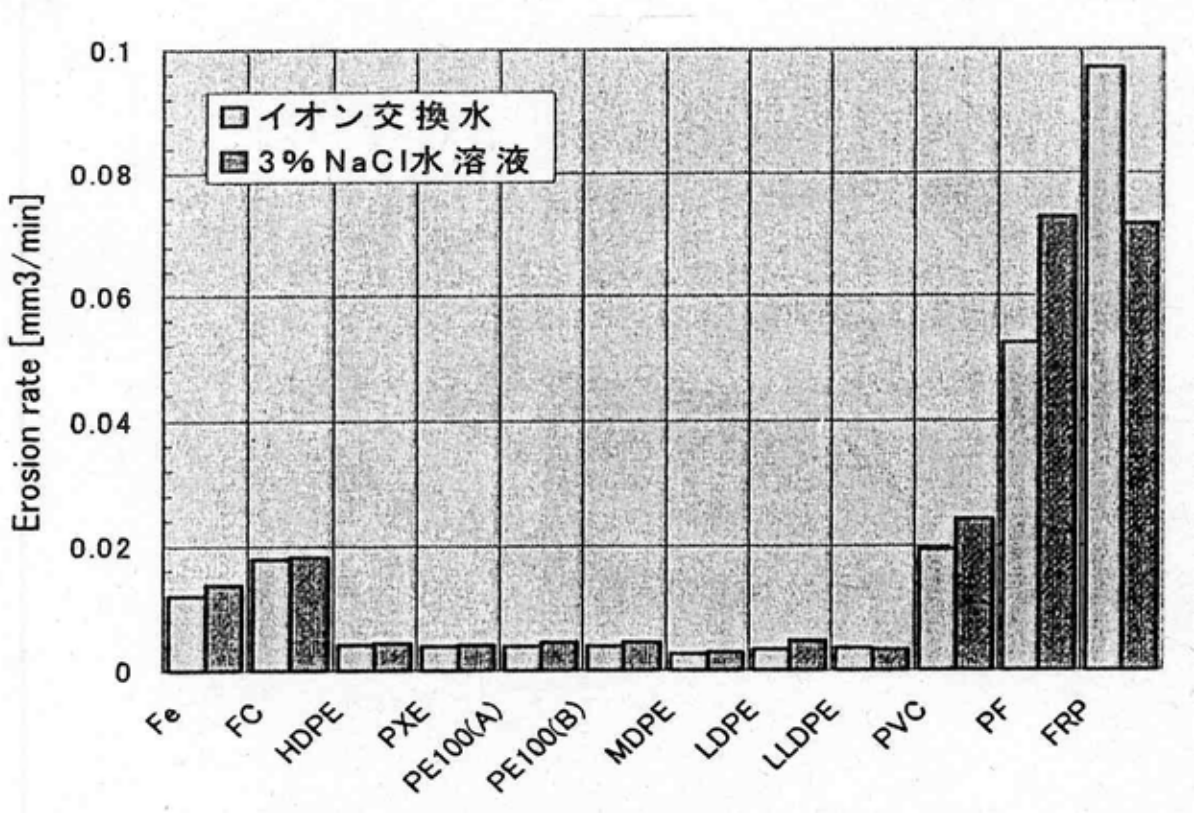


図-22-2 一般市販管の耐摩耗性[2)]

2）(財)下水道新技術推進機構　「下水道用高密度ポリエチレン管　建設技術審査証明（下水道技術）　報告書　添付資料 4，5（広島大学報告書 『ポリエチレン管の耐摩耗性』）

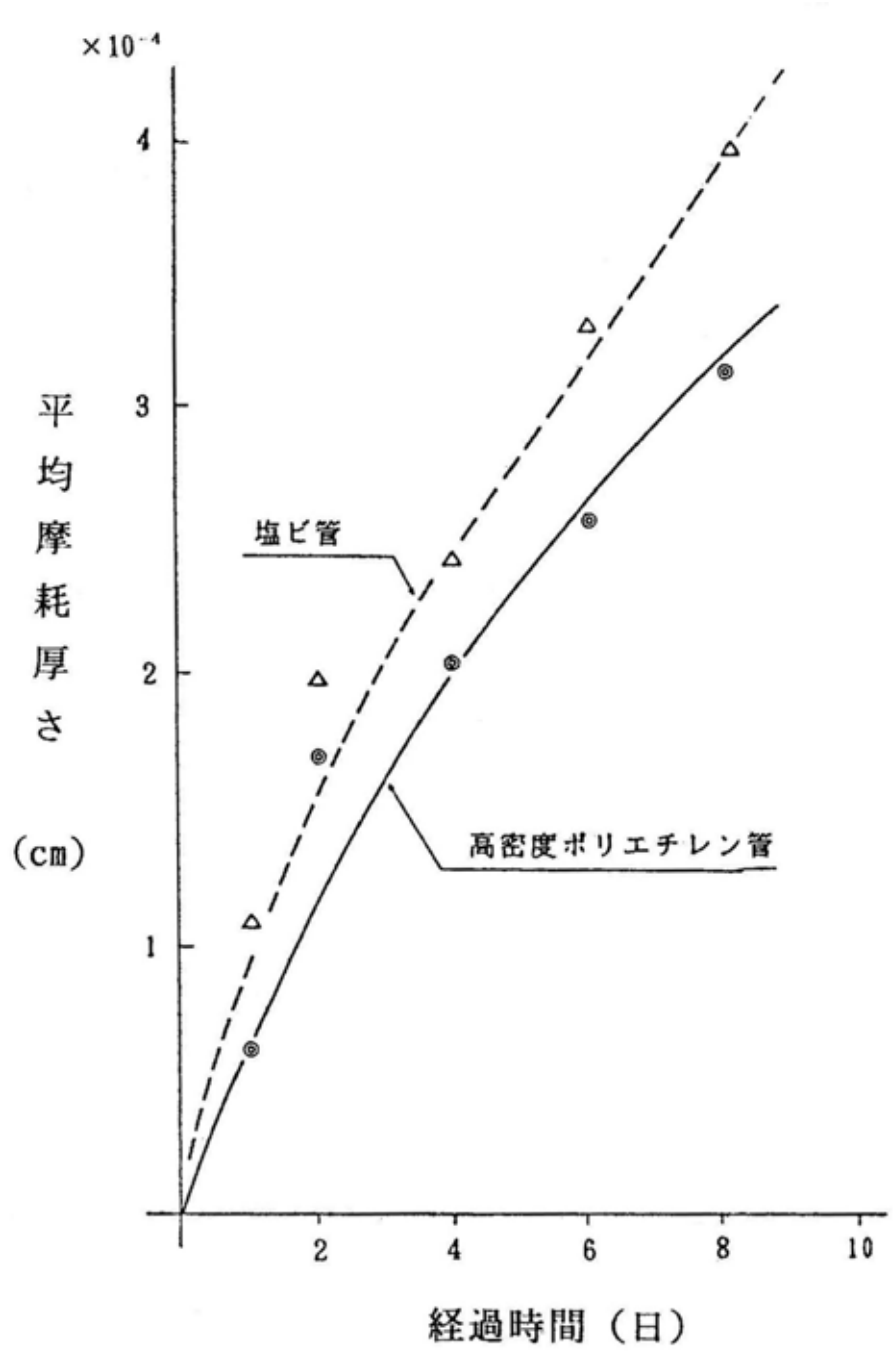


図-22-3 一般市販管の耐摩耗性[3)]

3）(財)土木研究センター　「高耐圧ポリエチレン管　技術審査証明報告書」　6.2 耐摩耗性

第２　露出形式水圧管

(考慮する荷重)

第 23 条　主要耐圧部は次の荷重に対して安全となるように設計しなければならない。

内圧,管の質量,管内水の質量，雪荷重，
温度変化,排水時外圧,地震力,風圧

〔解説〕

主要耐圧部の管厚を決定する要素は，内圧による円周方向の引張応力が大部分であるが，長径間の場合は，管の質量，管内水の質量，温度変化等の要素が管厚に及ぼす影響も大きい。温度変化は，据付時の管の温度と通水後の水温の差をとり，一般的に温度降下 15℃～20℃を見込む場合が多いが，寒冷地で施工時の気温が低い場合には温度上昇となることもあるので，気象並びに施工条件を考慮して決定する必要がある。

一般市販管は,熱伝導率が小さく,積雪通水時の管周辺の融雪が期待できないため，通水時，空虚時ともに雪荷重を考慮する必要がある。

地震力，風圧は一般に主要耐圧部に直接与える影響は少ないため，支台及びアンカブロックの設計に考慮すればよい(第 43,44,46 条参照)。

なお，ポリ管及びリブ管を露出配管とする場合や部分的に露出させる場合は，線膨張係数が大きいことから直射日光による管軸方向の変形とともに，管円周方向の変形（日射面で膨張し,反対の面が相対的に収縮する）が生じる可能性がある。これらの変位を拘束すると，管に温度応力が発生することになる。また，クリープによって思わぬ変形が生じることも考えられる。

したがって，ポリ管及びリブ管を露出させる場合の設計については，伸縮継手を用いないこととともに，連続したコンクリートによる基礎とするなど，温度変化やクリープによる変形に対して十分に安全な構造としなければならない。

(荷重の組合せ)

第 24 条　前条の荷重は,次の各号の組合せについて設計しなければならない。

一　管内満水時：内圧,管の質量,管内水の質量,雪荷重,温度変化,地震力,風圧
二　管内充水時：管内水の質量
三　管内空虚時：排水時外圧，雪荷重，風圧

〔解説〕

管内満水時の荷重としては，内圧が最も主要な荷重であるが，管の質量，管内水の質量，温度変化等についても検討が必要である。

管内充水時には管内水の質量により，管胴に円周方向の曲げモーメントが発生する

ので検討が必要である。この場合，一般市販管による水圧管路はサドルサポート形式であるので，この曲げモーメントは，管内が丁度満水(just full)の状態のときに最大となる。

管内空虚時には，排水時の管内外面の圧力差や雪荷重，風圧に対する検討が必要である。

(管と支承の摩擦係数)

第 25 条　設計に用いる管と支承との摩擦係数の値は，下表の値以上とする。

表-25-1 摩擦係数の値

組合せ	摩擦係数
コンクリート支承	0.6
潤滑補助材を有するコンクリートサドル	0.5

〔解説〕

第 45 条で示すように,支台上での管胴本体接触部はコンクリートと一般市販管の管胴が直接接触することは避け，活動補助材（ゴムなどの緩衝材又はサドルプレート）を入れた構造とする。その場合の摩擦係数を表-25-1 に示す。

緩衝材にゴムを用いる場合，管胴の管軸方向変位は，多くの部分がゴムのせん断変形によって吸収されるものと思われる。この場合は，摩擦係数というよりもゴムのせん断変形抵抗というべきものであるが，管胴の設計上は摩擦係数として扱っても差し支えない。

(応力の算定)

第 26 条　主要耐圧部の設計は，次の各号の応力を計算しなければならない。

一　管内満水時

(1) 円周方向の応力

1) 内圧による引張応力

2) サドルサポート部における円周方向曲げ応力

(2) 管軸方向の応力

1) 管を梁と考えたときの曲げ応力

2) 管の傾斜による応力

3) 漸縮管に作用する内圧の管軸方向成分による応力

4) 継手に作用する内圧の管軸方向成分による応力

5) 管の温度変化による応力

(3) せん断応力

1) 管を梁と考えたときのせん断応力

二　管内充水時

(1) 充水による円周方向の曲げ応力等

三　管内空虚時

(1) 外圧によるたわみ率（変形率）

〔解説〕

本条に掲げた応力を計算するに際し，一般に使用されている算式を示す。

以下，式中の記号については，各項に示すが，板厚，余裕厚，直径，半径，管軸方向長さについては図-26-1 及び次のように定める。

また，計算に用いる寸法は全て設計寸法とする。

Do:内径(mm)

Do´:外径(mm)

D:余裕厚の 1/2 を管胴の内面から除いたときの内径＝Do+ε (mm)

D':余裕厚の 1/2 を管胴の外面から除いたときの外径＝Do'－ε (mm)

D_m ：板厚の中心の直径＝$2r_m$(mm)

r_m ：板厚の中心の半径(mm)

t_o ：管厚(mm)

t：余裕厚を除いた管厚＝t_o－ε (mm)

ε ：腐食及び摩耗に対する余裕厚(mm)

L:支台径間の長さ(mm)

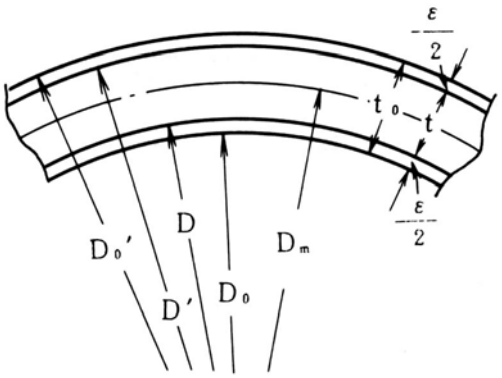


図-26-1　応力算定上の寸法の取り方

一　管内満水時

(1)　円周方向の応力

1)　内圧による引張応力

$$\sigma=\frac{P\cdot D}{2t}\text{又は}\frac{P\cdot D}{2(t_o-\varepsilon)}$$

ここに，σ：応力(N/mm²)

P：応力を求めようとする位置の最大水圧(MPa)

2)　サドルサポート部における円周方向曲げ応力

$$\sigma_{12} = \frac{1}{B} \cdot \frac{M}{EI} \cdot \eta \cdot E$$

ここに，σ_{12}：サドルサポート部における円周方向曲げ応力(N/mm²)

M：サドルサポート部における円周方向曲げモーメント(N・mm)

η：中立軸(管中心)から板厚中心までの距離(mm)

B：有効に働く管胴の長さ(＝支台幅)(mm)

EI：管壁の単位幅あたり曲げ剛性(N・mm)

E：管壁の円周方向弾性係数(N/mm²)

支点における管の変形は，充水時において最も大きくなり，サドルサポートの場合には，これに対する十分な検討を要する。サドルサポートは，120°支持が一般的である。サドルサポート部の管は，内圧の他に下記の周方向曲げモーメントを受ける。

a.管内水の質量による曲げモーメント

b.管質量や雪荷重等による曲げモーメント

このうち，管内水の質量による周方向曲げモーメントは，丁度満水時に最大となり図-26-2 から求めることができる。最大の曲げモーメントはサドル肩部に生じ，β＝120°の場合$M=0.0528Qr_m$となる。ここで,一般市販管の採用においてはより安全を考慮し，応力を重ね合わせるものとする。

また，FRP(M)管の場合と同様に，有効に働く管胴の長さ B は支台幅と同程度とする。

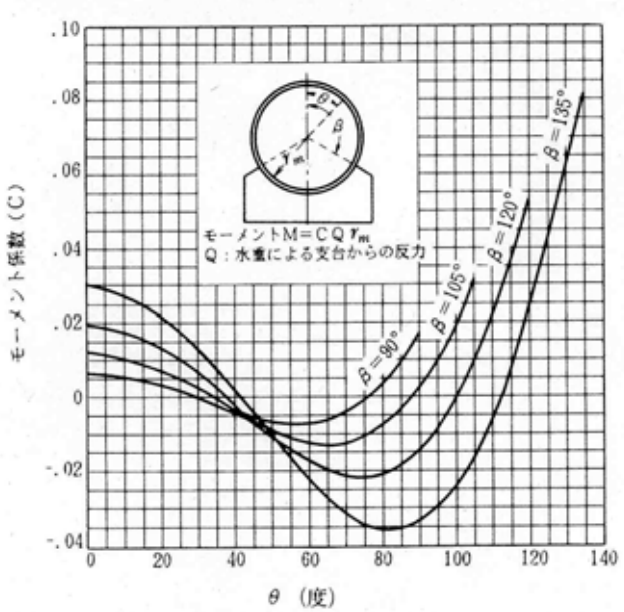


図-26-2　サドルサポート上の管の周方向曲げモーメント

なお，サドル部には，第 45 条に示すように，ゴムなどの緩衝材又はサドルプレートを入れた構造とする。ここで，管胴とサドルの間に緩衝材又はサドルプレートを設置し，内圧による管壁の復元効果から周方向曲げモーメントによる応力が十分小さいことが解析，又は計測結果等により判断できる場合については，当該応力を無視してもよい。

(2) 管軸方向の応力

1) 管を梁と考えたときの曲げ応力

$$\sigma = \frac{M_n}{Z_p}$$

ここに，M_n：梁としての曲げモーメント(N・mm)

Z_p：管の有効断面の断面係数 $\frac{\pi}{4} t D_m^2$ (mm^3)

2) 管の傾斜による応力

$$\sigma = \frac{\Sigma(\pi \cdot D_m \cdot t_n \cdot L_n)}{A_s} \gamma_s \sin\theta$$

ここに，t_n：その部分にふくまれる管の板厚(mm)

L_n：板厚 t_n の部分の長さ(mm)

γ_s：一般市販管の単位質量による荷重

θ：管軸と水平面とのなす角度

A_S：応力を考慮する部分の管胴板の断面積＝$\pi \cdot D_m \cdot t$ (mm^2)

3) 漸縮管に作用する内圧の管軸方向成分による応力

$$\sigma = \frac{\pi}{4} \frac{P_r}{A_s} (D_1^2 - D_2^2)$$

ここに，D_1：漸縮前の位置の D に相当する内径(mm)

D_2：漸縮後の位置の D に相当する内径(mm)

P_r：漸縮管の中心における最大水圧(MPa)

4) 継手に作用する内圧の管軸方向成分による応力

$$\sigma = \frac{\pi \cdot D_m \cdot t_E \cdot P_E}{A_s}$$

ここに，P_E：継手の位置の水圧(MPa)

t_E：継手の内側（差し口側）の管の板厚(mm)

5)　管の温度変化による応力

管に温度変化が生じ，その変位が拘束される場合，その上昇か下降の方向によって摩擦力の方向が異なるが，安全側になるように次の応力を加算するものとする。

(a)管と支台との摩擦による応力

$$\sigma = \frac{f_{sp}(W_s + W_w)\cos\theta}{A_s}$$

ここに，W_s：管の質量による荷重(N)

W_w：管内水の質量による荷重(N)

f_{sp}：摩擦係数(本章第 26 条による。)

(b)管の温度変化による応力

$\sigma = \alpha \cdot E \cdot \Delta T$

ここに，σ：温度応力(N/mm^2)

α：管材の線膨張係数(℃$^{-1}$)

E：管材の弾性係数(N/mm^2)

ΔT：温度変化(℃)

(c)ポアソン効果による応力

管軸方向の変位が拘束される場合，円周方向に対するポアソン効果により軸方向応力が生ずる。

$\sigma = \nu \cdot \sigma_r$

$$\sigma_r = \frac{P \cdot D}{2t}$$

ここに，σ：ポアソン効果による応力(N/mm^2)

ν：ポアソン比(＝0.3)

σ_r：円周方向応力(N/mm^2)

P：応力を求めようとする位置の最大水圧(Pa)

D：内径(mm)

t：管厚(mm)

6)　管内水の摩擦による推力は小さいので省略してもよい。

(3)　管を梁と考えたときのせん断応力

$$\tau = \frac{2S\cos\theta}{A_s}$$

ここに，S:支台におけるせん断力(N)

二.管内充水時

(1)　充水による円周方向の曲げ応力

満水時における円周方向の曲げ応力の計算式を用い，管内水の質量その他による円周方向曲げ応力を計算する。なお，満水時の計算において管内水の質量によるサドルサポート部の曲げ応力を加算する場合は，管内充水による円周方向の曲げ応力の計算を省略することができる。

三.管内空虚時

(1)　外圧によるたわみ率（変形率）

管内空虚時においては，外圧に対するたわみ率が土中埋設形式において設定される設計たわみ率を超えないように設計する。

第３　土中埋設形式水圧管

(考慮する荷重)

第 27 条　主要耐圧部は，次の荷重に対して安全となるように設計しなければならない。

内圧，土圧，載荷重，管内水の質量，雪荷重，温度変化，排水時外圧

〔解説〕

主要耐圧部の管厚の決定要素は，内圧による円周方向の引張応力が最も基本的なものであるが，土中埋設の場合は，管上部に作用する土圧並びに自動車やブルドーザ等による載荷重及び多雪地域での積雪荷重が作用する。温度変化は据付時の気温と通水後の水温の差をとるものとし，管内空虚時に排水時の管内外の圧力差が生じる恐れがある場合には，外圧に対する検討が必要である。土中埋設形式の場合は，管全長が土で支持されており，また，土圧や載荷重に比べて管自重による応力は小さいので管の質量を考慮する必要はない。

(荷重組合せ)

第 28 条　前条の荷重は,次の各号の組合せについて設計しなければならない。

一　管内満水時：内圧,土圧，載荷重，管内水の質量,温度変化,雪荷重

二　管内充水時：土圧，載荷重，管内水の質量,雪荷重

三　管内空虚時：土圧，載荷重，雪荷重，排水時外圧

〔解説〕

土中埋設管の場合，管内満水時の最も主要な荷重は，内圧及び土圧であるが，道

路下に敷設される場合等には車両による載荷重も考慮する必要がある。

管内充水時は，土圧，載荷重，管内水の質量が主要な荷重である。

管内空虚時に，土圧，載荷重の他に排水時に管内外の圧力差が生じる恐れがある場合には外圧の検討も必要である。また，いずれの場合にも，多雪地域では雪荷重に対する検討が必要である。

(埋設条件)

第 29 条　管は掘削溝に敷設することを基本とし，土質材料及びこれに類する材料で埋め戻し，設計条件に合致した管の支持条件が得られるように十分締固めなければならない。

2. 管を埋設する地盤は必要な支持力があり，管に支障をきたすような不等沈下のない良好な地盤でなければならない。

〔解説〕

管を公道に敷設する場合は，道路法並びに関係法令によるとともに道路管理者との協議による。

管は，掘削溝に敷設し，砂質土で埋戻し締固めるものとする。

埋設深さは，地質，地盤の状況，載荷重，地下水位，積雪量などを考慮して決定する。

地下水位が高く管内空虚時に浮力が作用する恐れがある場合には，管上部の土かぶりを深くし，寒冷地では凍結深度より深く埋設する。

地盤は，管自重及び管内水の質量を支持するのに必要な支持力があり不等沈下が少なく，良好な地盤を選定する配慮が必要である。

埋戻しに用いる材料は，設計に応じて必要な範囲については石や木片等の異物を含まない砂又は砂質土を用いるものとし，それ以外の範囲は，現地発生土を用いてもよい。

締固めは埋設後の管の応力状態に直接影響するので,十分な施工管理が必要である。

締固め時の一層のまき出し厚さは，50㎝程度以下とし，受働抵抗係数が十分に期待できるように振動コンパクタなどで締め固めるものとし，地盤の透水係数が良好な場合には，水締めを行っても良い。

(応力の算定)

第 30 条　主要耐圧部の設計は，それぞれ次の各号の応力を計算しなければならない。

一　管内満水時

(1) 円周方向の応力

1) 内圧による引張応力

2) 土圧，載荷重及び雪荷重による曲げ応力

(2) 管軸方向の応力

1) 管の温度変化による応力

2) ポアソン効果による応力

3) 管を梁と考えたときの載荷重による曲げ応力

(3) 管軸に垂直な方向のせん断応力

1) 管を梁と考えたときの載荷重によるせん断応力

二　管内充水時

1) 土圧，載荷重，管内水の質量，雪荷重による円周方向曲げ応力

三　管内空虚時

1) 土圧，載荷重，雪荷重によるによる円周方向曲げ応力

2) 外圧によるたわみ率（変形率）

〔解説〕

本条に掲げた応力を計算するに際し，一般に使用されている計算式を以下に示す。

地盤が盛土の場合や地盤条件が急変する箇所，あるいは建屋等の沈下しにくい構造物と接続される箇所等には不等沈下が生じる事がある。その場合の計算式及び対策としては，(社)日本水道鋼管協会編「埋設鋼管路不同沈下の計算方法と対策」を参照のこと。

アンカブロックを設けずに埋設する場合には，遠心力と不平均力による管軸方向応力及びせん断応力が生じるので，(社)電力土木技術協会編「火力･原子力発電所土木構造物の設計」等により計算すること。

なお，リブ管の 1K 種（JIS K 6780 (2003)）を採用する場合，内圧による応力の算出に当たっては，リブ部の厚さを考慮しないものとする。しかし，外圧による応力及びたわみ率を算出する場合は，リブ部の厚さを考慮した換算肉厚を用いてもよい。

また，本基準(案)で対象とする一般市販管については，農業や水道の埋設送配水管として普及しており，設計（管種決定）の考え方も確立されている。

一　管内満水時

(1)　円周方向の応力

1)　内圧による引張応力

$$\sigma = \frac{P \cdot D}{2t}$$

ここに，σ：応力(N/mm²)

t：余裕厚を除いた管厚(mm)

P：応力を求めようとする位置の最大水圧(MPa)

D：余裕厚の 1／2 を管胴の内面から除いたときの内径(mm)

2)　土圧，載荷重及び雪荷重による曲げ応力

土圧，載荷重及び雪荷重による曲げ応力の計算式としては，Spangler の式がある。

土圧分布モデルは図-30-1 のように考え，内圧による復元力を考慮した場合の最大曲げモーメントは管底に生じる。

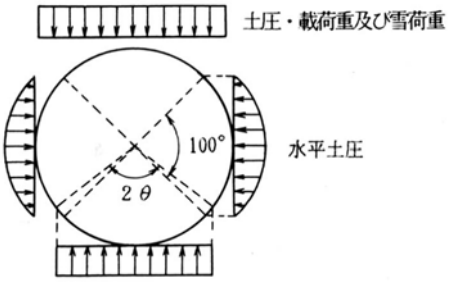


図-30-1　土圧分布モデル

円周方向の曲げ応力は以下による。

$$\sigma_{b1} = \frac{6M_1}{t^2}$$

σ_{b1}：円周方向の曲げ応力(N･mm²)

M_1：管底に生じる曲げモーメント(N･mm/mm)

$$M_1 = K_1 \cdot W \cdot r_m^{\,2} - 0.083e' \cdot \Delta X_1 \cdot r_m - K_1 \cdot P \cdot \Delta X_1 \cdot r_m$$

ここに，W：鉛直荷重強度(＝土圧Wv+トラック荷重による土圧W_d +雪荷重W_{SN}) (N/mm²)

r_m：板厚の中心の半径(mm)

e'：土の受働抵抗係数(N/mm²)

P：応力を求めようとする位置の最大水圧(MPa)

ΔX_1：水平たわみ量(mm)

K_1：管底の支持角によって決まる係数

$$\Delta X_1 = \frac{2K \cdot W \cdot r_m^4}{E_s \cdot I + 0.061 e' \cdot r_m^3 + 2K \cdot P \cdot r_m^3}$$

ここに，Es：材料の弾性係数(N/mm²)

I：管壁の単位長さ当りの断面2次モーメント＝$\frac{t^3}{12}$　(mm⁴/mm)

K：管底の支持角によって決まる係数

$$K_1 = \frac{1}{\pi}\left(\frac{\theta}{4\sin\theta} + \frac{3}{4}\cos\theta + \frac{\theta\sin\theta}{2}\right) + \frac{3}{8} - \frac{\sin\theta}{2} - \frac{\cos^2\theta}{3\pi}$$

$$K = -\frac{\sin^2\theta}{12} + \frac{\theta\sin\theta}{2\pi} + \frac{\theta}{4\pi\sin\theta} + \frac{3\cos\theta}{4\pi} - \frac{5}{24}$$

2θ：管底の支持角(rad.)

係数K,K_1は表-30-1の値となる。

表-30-1　K,K_1の値

2θ	0°	60°	90°	120°	180°
K	0.110	0.103	0.096	0.089	0.083
K_1	0.587	0.377	0.314	0.275	0.250

管底の支持角2θは基礎の設計条件により異なるが，砂基礎では90°程度とすることが多い。土の受働抵抗係数e'の値については，表-30-2を参考に選定する。

表-30-2　土の受働抵抗係数e'の標準値(N/mm²)

土の種類 (統一分類法による)	締固めなし	一定の仕様を定めて管理する締固め プロクター密度で<85% 相対密度で　　<40%	厳密な施工管理のもとで行う締固め プロクター密度で≧85% 相対密度で　　≧40%
細粒土(LL≦50%) 中程度の塑性から塑性のない土まで CL,ML,ML-CL (粗粒部分25%以下)	0.34	1.37	2.75
細粒土(LL≦50%) 中程度の塑性から塑性のない土まで CL,ML,ML-CL (粗粒部分25%以上) 細粒土を含む粗粒土 GM,GC,SM,SC (12%以上の細粒土を含む)	0.69	2.75	6.86
細粒土をほとんど含まないか,全く含まない粗粒土 GW,GP,SW,SP (12%以下の細粒土を含む)	1.37	6.86	13.7

(注)　プロクター密度＝$\frac{\text{現場で締固めた後の乾燥密度}}{\text{基礎となる室内締固め試験(JIS　A - 1210)での最大乾燥密度}} \times 100(\%)$

土荷重は以下のよって計算する。

(i)管頂からの土被り　H≦2000mm のとき

垂直公式による。

$$Wv = \rho_b \cdot g \cdot H$$

ここに，Wv：土圧(MPa)

ρ_b：埋戻し土の密度(kg/mm^3)

g：単位質量当りの重力(N/kg)

H：管頂からの土被り(mm)

(ⅱ)管頂からの土被り　H＞2000mm のとき

Marston 公式による。ただし，Marston 公式による土圧が，H＝2000mm のときの垂直公式による土圧よりも小さい場合は H＝2000mm のときの垂直公式による土圧をとる。

$$Wv = Cd \cdot \rho_b \cdot g \cdot B$$

ここに，Cd：土圧係数

B：管頂における溝巾(mm)

$$Cd = \frac{1 - e^{-2K\mu'(H/B)}}{2K\mu'}$$

ここに，K：Rankine の土圧係数 $\dfrac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}$

μ'：埋戻し土と溝側壁の摩擦係数 $\tan\phi'$

ϕ：埋戻し土の内部摩擦角(°)

ϕ'：埋戻し土と溝側壁との摩擦角(°)

($\phi' \fallingdotseq \phi$として差支えない)

載荷重は以下によって計算する。

載荷重としては，自動車荷重，ブルドーザ荷重などが考えられるが，ここでは一般的な荷重としてトラック荷重の算出について示す。

$$W_t = \frac{2n \cdot P_t(1+K_i)}{\{n \cdot L + (n-1)c + b + 2H\tan\psi\}(a + 2H \tan\psi)}$$

ここに，W_t：トラック荷重による載重量(N/mm)

n：トラック台数

P_t：後輪１個の荷重(N)＝$\dfrac{1}{2} \times \dfrac{4}{5} \times w \times g$

w：トラック１台の総質量(kg)

L：後輪中心間隔(mm)

H：管頂からの土被り(mm)

a：車輪接地長(mm)

b：後輪輪帯巾(mm)

c：相隣るトラック間の後輪中心間隔(mm)

ψ：分散角(°)(一般に 45°を用いてよい)

K_i：衝撃係数

表-30-3　衝撃係数 [1)]

土被りの高さ(m)	衝撃係数（K_i）
H<1.5	0.5
1.5≦H＜6.5	0.65－0.1H(m)
H≧6.5	0

雪荷重は以下によって計算する。

多雪地域で雪荷重による応力が大きい場合に考慮する。

$W_{SN} = \rho_{SN} \cdot g \cdot H_{SN}$

ここに，W_{SN}：雪荷重(N/mm²)

ρ_{SN}：雪の密度(kg/mm³)

g：単位質量当りの重力(N/kg)

H_{SN}：積雪深さ(mm)

(2)　管軸方向の応力

1)　管の温度変化による応力

本章第 26 条解説による。

2)　ポアソン効果による応力

本章第 26 条解説による。

3)　管を梁と考えたときの載荷重による曲げ応力

弾性床上の梁とし，計算式は(社)土木学会「構造力学公式集」等を参照するものとする。

(3)　管軸に垂直な方向のせん断応力

管を梁と考えたときの載荷重によるせん断応力。

上記(2) 3)に示した資料等を参照すること。

1)通産省，石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準の細目を定める告示，1973

二　管内充水時

(1)　土圧，載荷重，管内水の質量，雪荷重による円周方向曲げ応力

$$\sigma_{b2}=\frac{6M_2}{t^2}$$

σ_{b2}：土圧，載荷重，雪荷重，及び水の質量による円周方向曲げ応力 (N/mm^2)

M_2：土圧，載荷重，雪荷重，及び水の質量による曲げモーメント $(N\cdot mm/mm)$

最大曲げモーメントは次式で算出される。

$$M_2=K_1\cdot W\cdot r_m^{\,2}+K_2\cdot \rho w\cdot g\cdot r_m^{\,3}-0.083e'\cdot \Delta X_2\cdot r_m$$

ρw：水の密度(kg/mm^3)

ΔX_2：土圧，載荷重，雪荷重，及び水の質量による水平たわみ量(mm)

K_2　：管底の支持角によって決まる係数

$$\Delta X_2=\frac{2K\cdot W\cdot r_m+2K_0\cdot \rho w\cdot g\cdot r_m^{\,2}}{E_s\cdot I/r_m^{\,3}+0.061e'}$$

K_0　：管底の支持角によって決まる係数

$$K_2=\frac{\theta}{8\sin\theta}+\frac{3}{8}\cos\theta-\frac{\pi}{4}\sin\theta+\frac{\theta\sin\theta}{4}+\frac{5}{12}-\frac{\cos^2\theta}{6}$$

$$K_0=\frac{1}{2}\left(-\frac{\pi\sin^2\theta}{12}-\frac{\pi}{4}+\frac{\theta\sin\theta}{2}+\frac{\theta}{4\sin\theta}+\frac{3\cos\theta}{4}\right)$$

係数 K_2,K_0 は表-30-4 の値となる。

表-30-4　K_2,K_0 の値

管底の支持角（2θ）	0°	30°	60°	90°	120°	180°
K_2	0.750	0.563	0.420	0.321	0.260	0.220
K_0	0.107	0.104	0.096	0.085	0.075	0.065

三　管内空虚時

(1)　土圧，載荷重，雪荷重による円周方向曲げ応力

$$\sigma_{b3}=\frac{6M_3}{t^2}$$

σ_{b3}：土圧，載荷重及び雪荷重による円周方向曲げ応力(N/mm^2)

M_3：土圧，載荷重及び雪荷重による曲げモーメント$(N\cdot mm/mm)$

最大曲げモーメントは管底に生じ，次式で計算される。

$$M_3=K_1\cdot W\cdot r_m^{\,2}-0.083e'\cdot \Delta X_3\cdot r_m$$

ΔX_3：土圧，載荷重及び雪荷重による水平たわみ量(mm)

$$\Delta X_3 = \frac{2K \cdot W \cdot r_m}{E_s \cdot I / r_m^3 + 0.061 e'}$$

(2)　外圧によるたわみ率(変形率)

$$\alpha = F \cdot \frac{\Delta X_3}{2r_m}$$

α：管内空虚時たわみ率

F ：変形遅れ係数(1.0～1.5)

変形遅れ係数Fは，管のたわみ率が埋設後埋戻し施工の状況によって経時的に変化することを考慮した係数であり，「石油パイプライン事業の事業施設の技術上の基準の細目を定める告示」(通商産業省ほか)では

・十分締固まった砂，もしくは砂質土の地盤に埋設する場合　1.0

・管の側面が管の半径以上の幅にわたり砂もしくは砂質土で置換されて十分締固めてある場合　1.0

・その他の場合　1.5

としている。

また，排水時外圧を考慮する場合は，ΔX_3を算出する際に荷重として加算するものとする。

上式によって計算したたわみ率αの値が表-30-5 に示すたわみ率Vを超えないように管厚を選ぶ。

表-30-5　設計たわみ率(%)

締固めの程度	締固めなし	締固め　I	締固め　II
許容たわみ率	5	5	5
たわみ率のバラツキ	±2	±2	±1
設計たわみ率　v	3	3	4

第 5 節　付属設備

（継　手）

第 31 条　塩ビ管の継手はゴム輪継手，ポリ管の継手は EF 融着継手又はバット融着継手，リブ管の継手はゴム輪継手（ガスケット継手），EF 融着継手又は樹脂盛り溶接継手とする。

〔解説〕

1.　塩ビ管の継手はゴム輪継手とする(図-31-1 参照)。

ポリ管の継手は EF 融着継手又はバット融着継手とする(図-31-2 参照)。

リブ管の継手はゴム輪継手（ガスケット継手），EF 融着継手又は樹脂盛り溶接継手とする(図-31-3 参照)。

なお，継手の設計については第 32 条に規定する。

2.異種管や異形管との継手

異なる一般市販管同士の接合，一般市販管と鋼管や FRP(M)管との接合，あるいは，異形管との接合の場合で，ゴム輪継手，ＥＦ融着継手，バット融着継手又は樹脂盛り溶接継手としない場合には，メカニカル継手あるいはフランジ継手を用いるものとする。これらの継手については，十分な強さと水密性をもつ構造としなければならない。

3.管の伸縮が大きい場合への対応

ゴム輪継手による場合は，継手ごとに管軸方向の伸縮を吸収できるため，一般には伸縮継手等の設備は設けない。

また，ポリ管やリブ管（EF 継手又は樹脂盛り溶接による継手）では，弾性係数が小さく，管軸方向の伸縮には管自体で対応できると考えるため，上記ゴム輪継手の場合と同様に伸縮継手等の設備は設けない。

なお,ポリ管やリブ管を露出配管とする場合は,直射日光による温度変化により，比較的大きな伸縮や変位が発生する場合がある。このとき，管を不用意に拘束した場合や伸縮継手を設けた場合には，管のクリープ特性が影響して，管本体に想定外の負荷がかかり，思わぬ損傷を与えることがある。したがって，ポリ管やリブ管を露出配管とする場合には，伸縮継手を用いないこととともに，連続したコンクリートによる基礎とするなど，温度変化やクリープによる変形に対して安全な構造としなければならない。

4.ポリ管のバット融着部の内面処理

ポリ管をバット融着により継いだ場合，管の内面に肉盛状のこぶ（内ビード）が

生じる。一般（水道施設など）には，この内面こぶは削除しないが,管が比較的小さく,内面こぶの影響が懸念される場合には,施工直後にこの内面こぶを取り除くものとする。内面こぶの除去方法については第 51 条解説を参照とする。

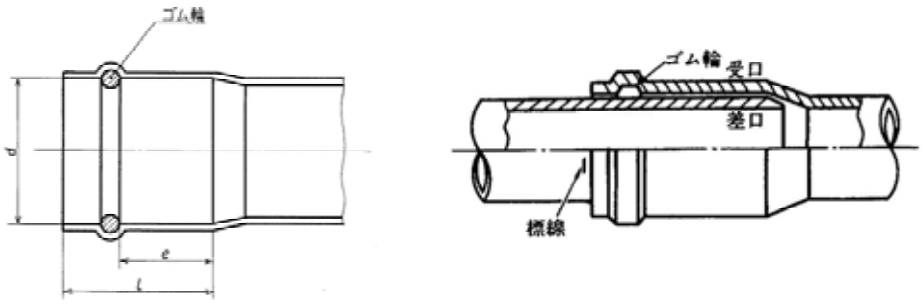
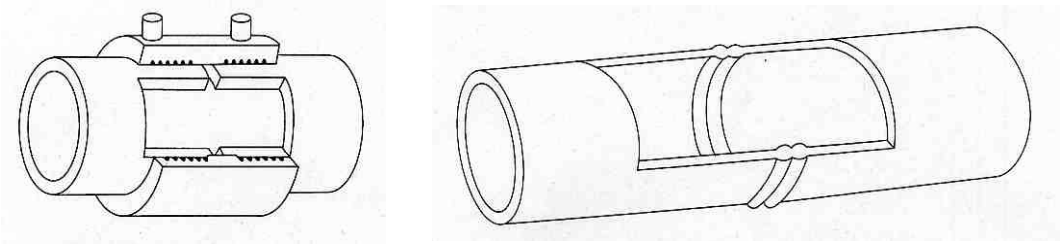
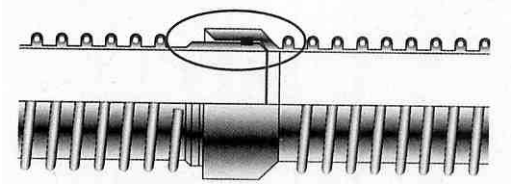


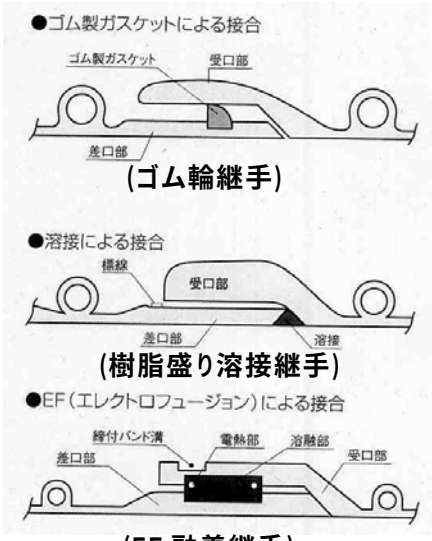
図-31-1 塩ビ管継手概要図(ゴム輪継手)



(EF 融着継手)　　（バット融着継手）

図-31-2 ポリ管継手概要図





(ゴム輪継手)

(樹脂盛り溶接継手)

(EF 融着継手)

図-31-3 リブ管継手概要図

(継手の設計)

第 32 条　継手は，次の各号の条件に適合するように設計しなければならない。

(1)　主要耐圧部と同等の強度を持つこと

(2)　主要耐圧部と組合せたとき，必要な水密性を持つこと。

〔解説〕

継手の設計は主要耐圧部と同様に行う。

ただし，使用時の荷重状態が再現できる場合は，継手の強度を耐圧試験によって求めてもよいものとする。この場合，設計圧力は管の破壊圧力に対して適切な安全率を持たなければならない。安全率については第 17 条の規定を準用する。

水密性については，水圧試験によって確認することを基本とする。この場合，試験圧力は設計圧力の 2 倍とする。この値は，水圧管路として一般市販管を対象としている農林基準に規定される値に等しい。

なお,継手の強度や水密性については,一般市販管の製作工場で各種試験を実施し,それぞれのデータ（強度，物性値等）を的確に把握されている場合が多い。したがって,あらかじめこれらのデータが得られている場合は,試験を省略することができる。

(曲　管)

第 33 条　曲管は，作用する内外圧に対し安全な構造としなければならない。

また，曲管部の曲率半径は，管内径の 3 倍以上とし，各節ごとの角度の振りは 7 ° 以下とする。ただし，直角曲管，分岐管，その他問題のない場合は，曲率半径を管内径の 2 倍以上とすることができる。

〔解説〕

管路の方向が変化する位置には曲管が必要となる。曲管の管中心線の曲率半径Ｒ，管内径Ｄ，及び損失水頭の関係については多数の実験結果があるが，Anderson 及び Straud[1)]がこれらを再検討して調整した値によると，Ｒ/Ｄの増加とともに損失係数は減少し，Ｒ/Ｄが 3 以上になれば相当小さくなる。一方，Ｒ/Ｄをあまり大きくすると曲管長が増加し経済的でなくなる。

ここで，直角曲管，分岐管においては，適切な曲率半径をとるだけの空間が得られない場合がしばしばあるので，このような場合には曲率半径を管内径の 2 倍以上としてもよいものとした。

また，なめらかな円弧状の管(スムースベントと呼ばれる)を製作することは製造上困難なことが多く，通常，各部分ごとに斜めに切断した円筒管を連ねた折管(海老胴

1) Anderson.A.G and Straub,L：Hydraulics of conduit bends,St Anthony Fall Hyd.raulic Laboratory,Bulletin No.1,Dec.1948

管又はマイタベンドと呼ばれる)として製作される。曲管部における各節の角度の振りは小さいほど滑らかな曲管に近付き，損失水頭は減少することが知られている。したがって，施工性及び経済性から従来より妥当とされている 7°以下の振り角度を本条に規定したが，低落差大容量発電所のように水頭の維持が非常に重要な場合は 4°～5°程度に選定することが望ましい。

なお，本基準(案)で対象とする一般市販管を採用する場合，第 7 条に示した材料に準じた既製品又は特注品を使用することができる。

また，海老胴管又はマイタベントを用いる場合は，形状の不連続による 2 次応力が生じるため，その応力を適切に評価し，応力が許容値を超える場合には曲管部の補強を行う必要がある。このような形状の不連続による 2 次応力や製造技術,製造コスト,接合箇所の補強による外観等を考慮し，一般市販管による曲管での対応が不利となる場合は,鋼管や FRP(M)性の曲管を用いることができる。鋼管及び FRP(M)を用いる場合は「水門鉄管技術基準　水圧鉄管編」並びに「水門鉄管技術基準　FRP(M)水圧管編」に準拠する。

ここで，ポリ管やリブ管（溶接継手）においては，第 7 条に示した材料の規格に応じた許容曲げ半径による曲線配置が可能とする。一方，塩ビ管及びリブ管（ゴム輪継手）の場合は直線配置を基本とするが，現場状況に応じて特に問題がない場合は，設計者の判断により管の継手を第 7 条に示した材料の規格に応じた許容曲げ角度（塩ビ管で良好な地盤の場合に 2°[参考値]）以内に設定することによって小角度の曲線配置を可能とする。この場合は，設定角度における継手の水密性及び引抜きについて確認するとともに，適正に施工されなければならない。

(漸縮管)

第 34 条　漸縮管は，作用する内外圧に対し安全な構造としなければならない。
また,水流に対しても配慮しなければならない。

〔解説〕

漸縮管は，内外圧を受ける円錐シェルとして計算すればよい。管端部の影響がない場合,円錐シェルの単位長さ当たりに作用するフープテンションは次式で与えられる。

$$N=\frac{P\cdot r}{\cos\theta}$$

ここに，N：円錐シェルの単位長さ当たりに作用するフープテンション
P：設計圧力
r：計算する位置における円錐シェルの半径
θ：円錐シェルの半頂角

すなわち，r が等しければ円錐の頂角が大きいほどフープテンションも大きくなる。

水理的な観点からは，第 6 条に述べたように，円錐の頂角を大きくすると水理損失が大きくなるので，適切な角度を選ぶ必要がある。

また，形状の不連続による 2 次応力や製造技術，製造コスト，接合箇所の補強による外観等を考慮し，一般市販管による漸縮管での対応が不利となる場合は，鋼管や FRP(M)製の漸縮管を用いることができる。鋼管及び FRP(M)を用いる場合は，「水門鉄管技術基準　水圧鉄管編」並びに「水門鉄管技術基準　FRP(M)水圧管編」に準拠する。

ここで,本基準(案)で対象とする一般市販管を採用する場合,第 7 条に示した材料に準じた既製品又は特注品を使用することができるものとする。なお，管胴の接合部には形状の不連続による 2 次応力が生じるため，その応力を適切に評価し，応力が許容値を超える場合には適切な補強を行う必要がある。

（分岐管）

第 35 条　分岐管は，作用する内外圧に対し安全な構造としなければならない。また，水流に対しても配慮しなければならない

〔解説〕

一般市販管において本管の水流が 2 つ以上に分けられる場合，又は 2 つ以上の管から本管へ水流が集まる場合，この分流部又は合流部に設けられる管を分岐管という。

分岐管の水理特性については次のような点が要求される。

1)　分流(合流)による損失水頭が小さいこと。

2)　分岐に必要な前後の曲管，漸縮管，漸縮曲管等も含めて，全損失水頭が小さいこと。また，大きな乱れ，2 次流を生じないこと。

3)　枝管の流量が変化しても他の枝管の流れに大きな過流や水圧動脈を生じないこと。

これらの要求を満たすためには,

①　各枝管の管軸と本管軸の間の角度がなるべく小さいこと。

②　流路断面積の急激な変化がないこと。

③　流路内に障害となるものを設けないこと。

等が考えられる。

ここで，本基準(案)で対象とする一般市販管を採用する場合，第 7 条に示した材料に準じた既製品又は特注品を使用することができるものとする。なお，管胴の分岐部には形状の不連続による 2 次応力が生じるため，その応力を適切に評価し，応力が許容値を超える場合には適切な補強を行う必要がある。

また，形状の不連続による 2 次応力や製造技術，製造コスト，接合箇所の補強による外観等を考慮し，一般市販管による分岐管での対応が不利となる場合は，鋼管や

FRP(M)製の分岐管を用いることができる。鋼管及び FRP(M)を用いる場合は,「水門鉄管技術基準　水圧鉄管編」並びに「水門鉄管技術基準　FRP(M)水圧管編」に準拠する。

(付属設備設置に伴う欠損部の補強)

第36条　付属設備,その他の設備の設置に伴い,主要耐圧部に欠損部を設ける場合において，これにより著しい応力集中が欠損部に生じて弱点になると考えられるときには，欠損部を補強しなければならない。

〔解説〕

管胴にマンホール，空気管又は空気弁，バイパス管，排水管等の付属設備や測水装置，水圧計，給水管等を取付けるために欠損部を設ける場合，欠損部の周辺には応力集中が生じる。

この応力集中の最大値は欠損部（穴）の周辺で起こり，これから隔たるにしたがって急減し，欠損部の中心から欠損部半径の 2 倍程度離れた位置で応力集中の影響はほとんどなくなる（「水門鉄管技術基準」 水圧鉄管編 第 38 条〔解説〕)。これらの著しい局部応力集中が管胴の許容応力を超えて弱点となる場合には欠損部の周辺を適切な方法によって補強しなければならない。

補強方法については「水門鉄管技術基準　FRP(M)水圧管編」第 42 条に示される例が参考になるが，補強にかかるコストや外観等を考慮し，鋼管や FRP(M)製に代替することができる。鋼管及び FRP(M)を用いる場合は,「水門鉄管技術基準　水圧鉄管編」並びに「水門鉄管技術基準　FRP(M)水圧管編」に準拠する。

(スラストカラ)

第 37 条　水圧管の管軸方向の推力（スラスト）を支台やアンカブロックなどの下部工へ伝達させることが必要とされる場合において，コンクリートによる巻立てなどの直接的な対応を行わないときには，一般市販管による水圧管路にスラストカラを設けるものとする。

2.　スラストカラは必要な強さを持ち，かつ，主要耐圧部と一体となるような構造としなければならない。

〔解説〕

管軸方向の推力(スラスト)に対しては，スラストカラ又はその他の方法（コンクリートによる巻立てなど）により，支台，アンカブロックと一般市販管を定着させ，荷重を下部工へ伝達させる必要がある。

一般市販管による水圧管路においては，露出して傾斜設置される単位管の自重による管軸方向の推力に対抗するためのスラストカラが採用されることがある。

その構造例を図-37-1 に示す。スラストカラは必要な強さを持ち，かつ，主要耐圧部と一体となるような構造としなければならない。なお,スラストカラは，一般市販管の管胴に管軸方向の圧縮力を生じさせないよう，上流側に設置することが多い。

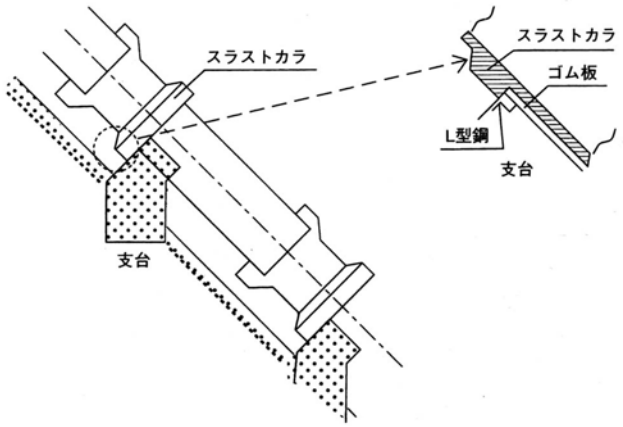


図-37-1　スラストカラの構造例

(マンホール)

第 38 条　水圧管の保守点検上から管内への侵入が必要とされる場合には，管長，管径，傾斜等を考慮して，一般市販管による水圧管路にマンホールを設けるものとする。

〔解説〕

一般市販管による水圧管路には，管内への侵入が必要とされる場合に保守点検用のマンホールを設けるが，管長，管径，傾斜等によってその位置が決定される。マンホールの取付位置は主として出入りが容易なように決められるが，管の円周上，上方又は斜め下方が一般に採用されている。

また，鋼製とする場合は,「水門鉄管技術基準」水圧鉄管編第 42 条に準拠する。

(空気管及び空気弁)

第 39 条　水圧管の充水時の排気や排水時の空気導入が必要とされる場合には，一般市販管による水圧管路に空気管又は空気弁を設けるものとする。

〔解説〕

1．空気管又は空気弁は，水圧管の充水時の排気と排水時の空気導入を行うもので，特に排水時の圧壊防止には最も重要な付属設備である。

排水時に管内の圧力が管外の圧力(大気圧)よりも低下する場合に対して 0.02MPa を超える圧力差が生ずる恐れがある場合には，0.02MPa 以下で作動するような空気

管又は空気弁を設置しなければならない。また，既設発電所の水圧管路では，水平又は水平に近い部分において管路が動水勾配線を超す恐れのあるような場合に，その部分の下流端にも空気弁又は空気管を設けている例がある。これは充排水のほかに負荷の急激な変化によって管内に生ずる負圧を防止するためである。

空気弁の最小流入断面積は，次式によって与えられる。

$$A=\frac{Q}{C\sqrt{2\frac{\Delta P}{\rho_a}}}$$

ここに，　A：最小流入断面積(m^2)

Q：最大管内流量(m^3/s)

ΔP：許容圧力差(Pa)

ρ_a：空気の密度(1.226kg/m^3)

C：流入係数(通常 0.6 を用いる)

2．寒冷地においては空気管や空気弁が凍結する恐れがあるので，電熱保温やグリース注入等の方法を用いて凍結を防止する必要がある。

また，閉鎖のときに異物がかまないように注意を払うとともに，木の葉等の付着や堆積，積雪によって空気管や空気弁が閉塞される恐れがある場合には十分な保護設備を必要とする。

空気弁は開閉にあたり大きな衝撃を受けるので，それに耐え得る十分な強さをもっていなければならない。

なお上記の考慮を払うにしても，空気弁の作動が信頼性を増す目的のため，2 個以上の空気弁を設けて不測の事故に対して安全であるように設計する場合もある。

(制水弁，バイパス管及びバイパス弁)

第 40 条　水圧管内の流水の遮断（制水）や迂回（バイパス）が必要とされる場合には，一般市販管による水圧管路に制水弁，バイパス管及びバイパス弁を設けるものとする。

〔解説〕

代表的な制水弁を以下に示す。

ゲートバルブ

バタフライバルブ

ロータリーバルブ

制水弁に発生するスラストは，制水弁から直接下部工へ伝達できる構造とし，一般市販管による水圧管路のスラストを伝達させないものとする。

一般市販管による水圧管路において，水路の水門扉，制水弁の近傍に設けられ，その開閉力を小さくするため，あるいは水路内を徐々に充水する目的で設けられる管をバイパス管と呼び，バイパス管に取付けられる弁をバイパス弁と呼ぶ。

一般市販管による水圧管路にバイパス管を設置する場合，一般市販管の管胴に欠損部が生じる。この欠損部の補強は第 36 条に従えばよい。

(排水管及び排水弁)

第 41 条　水圧管内の水，砂，泥等の排除が必要とされる場合には，一般市販管による水圧管路に排水管及び排水弁を設けるものとする。

〔解説〕

一般市販管による水圧管路において，水圧管内の水，砂，泥等を排除するために設置する管を排水管と呼び，排水管に取付けられる弁を排水弁と呼ぶ。

一般市販管による水圧管路に排水管を設置する場合は管胴に欠損部が生じる。この欠損部の補強は第 36 条に従えばよい。

(支台及びアンカブロックの位置と基礎)

第 42 条　一般市販管による水圧管路は，適切な位置に支台又はアンカブロックを設け,一般市販管による水圧管路に作用する荷重を確実に基礎に伝達し,主要耐圧部の機能に支障を与えるような応力が生じてはならない。

2．支台及びアンカブロックは,必要な支持力をもつ基礎地盤の上に設けなければならない。ただし，これが,困難な場合は必要な支持力をもつ基礎工を設けなければならない。

〔解説〕

1.一般市販管による水圧管路の支台の位置は一般市販管の単位管長，構造などを考慮して決定する。また,管胴本体のわん曲部にはアンカブロックの設置を基本とする。

2．一般市販管による水圧管路は通常，管の自重，温度変化によるスラストなどに対しては支台でこれらの荷重を負担させる。また，わん曲部(継手で折曲り配管とする場合を含む)において,曲り角(又は折曲り角)が小さい場合や圧力が小さい場合など,不平衡力や遠心力を支台にて安全に支持できる場合は，不平衡力や遠心力とも支台に負担させることができる。

しかし，わん曲部に作用する不平衡力や遠心力が大きい場合は，支台で負担することが困難であり，これらの荷重を負担するためアンカブロックが設けられる。

3．支台の間隔を大きくすると，反力が大きくなるため管壁に生じるせん断力及び円

周方向曲げモーメントが増大し，したがって管厚を増加する必要がある。また，間隔を大きくすると固有振動数が小さくなる傾向がある。このため，支台の間隔については，これらの経済性，振動の軽減等の要素を配慮して決定する。

4. 支台及びアンカブロックの基礎は，必要な支持力をもつ基礎地盤の上に設け，移動の生じないものでなければならないが，これが困難なときは必要な支持力をもつ基礎工を施さなければならない。基礎工としては，杭打ち基礎工やグラウト工などが用いられている。

地盤の許容支持力は，地盤の極限支持力を適切な安全率で除して決定される。

地盤の極限支持力を求めるには，平板載荷試験による方法，標準入試験(N 値)から推定する方法[1)]などがある。地盤の極限支持力自体は地盤材料に固有の値ではなく，基礎の寸法，形状，荷重の状態などによって変化する。地盤の極限支持力の算定式としては，Terzaghi[2)]その他の研究者による支持力理論及びそれらを修正した方法がある。

安全率としては荷重を，常時作用する荷重と地震などの短期荷重に分け，後者に対しては前者よりも低い値を与えることが通常行われている[3)]。「道路橋示方書」では，常時で 3，地震時で 2 の安全率を規定している[1)]。

ただし，地震時には，地盤によっては流動化などをおこし極限支持力が低下することもあるので，実際に構造物を設置する地盤を十分に調査して設計する必要がある。

また，簡便に地盤の許容支持力を決定する方法として「許容支持力表」が各種基準に定められている。例えば「道路橋示方書」では「最大地盤反力度」として表-42-1 に示す値を与えている[1)]。

表-42-1　最大地盤反力度の上限値

基礎地盤の種類			最大地盤反力度 kN/m²		目安とする値 MN/m²	
			常　時	レベル 1 地震時	一軸圧縮強　度	孔内水平載荷試験による変形係数
岩盤	硬岩	亀裂が少い	2,500	3,750	10 以上	500 以上
		亀裂が多い	1,000	1,500		500 未満
	軟岩・土丹		600	900	1 以上	500 未満
地盤	砂れき地盤		700	—	—	—
	砂地盤		400	—	—	—
	粘性土地盤		200	—	—	—

1)(社)日本道路協会，道路橋示方書・同解説，下部構造編，pp269～279，2002.
2)Terzaghi,k,and Peck,R,B Soil Mechanics in Engineering Practice,2nd ed,Jhon Wiley & Sons,Inc,New York,1967(星埜和他訳，土質力学基礎編，pp88-201,丸善，1969.)
3）土質工学会編，岩の工学的性質と設計･施工への応用，pp467～471，1974.など。

(支台及びアンカブロックに考慮する荷重)

第43条　支台及びアンカブロックは,次の荷重に対して安全となるように設計しなければならない。

(1)　支台又はアンカブロックの質量

(2)　支台又はアンカブロックが支持する管（継手，異形管などの付属設備を含む）及び水の質量，載荷重，雪荷重

(3)　管軸方向の推力

(4)　わん曲部に作用する遠心力による推力

(5)　わん曲部に作用する不平衡力による推力

(6)　地震力

(7)　風圧による側面からの力

(8)　温度変化に伴う管の伸縮による軸方向の摩擦力

2.　アンカブロックの上流側と下流側の管軸が同一鉛直面内に無いときは，横軸方向の安定についても考慮しなければならない。

3.　支台及びアンカブロックは，これに作用する荷重に対して一般市販管による水圧管を安全に支持できるような構造としなければならない。

〔解説〕

支台及びアンカブロックの安定計算に考慮する荷重は，表-43-1 に従い，次の諸式によって計算する。

なお，符号は，水槽から発電所に向かう方向を正とし，支台及びアンカブロックより上部の管についてはダッシュなし，下部の管についてはダッシュをつけるものとする。

θ：管の傾斜角

ℓ：支台又はアンカブロックからそれに隣接する支台又は継手までの距離(m)

L：支台又はアンカブロックから最初のメカニカル継手までの距離(m)

Ws：一般市販管による水圧管の長さ 1m 当りの質量$=\pi(D_0+t_0)t_0\cdot\rho_s$(kg/m)

Ww：一般市販管による水圧管の長さ 1m 当りの管内水の質量

$=\pi D_0^2\cdot\rho_w/4$(kg/m)

W_0：一般市販管による水圧管路の長さ 1m 当りに作用する載荷重，雪荷重による荷重(kg/m)

D_0：管の内径(m)

t_0：管　　厚(m)

ρ_s：管材料の密度(10^3kg/m^3)

ρ_w：管内水の密度(1.0×10^3kg/m^3)

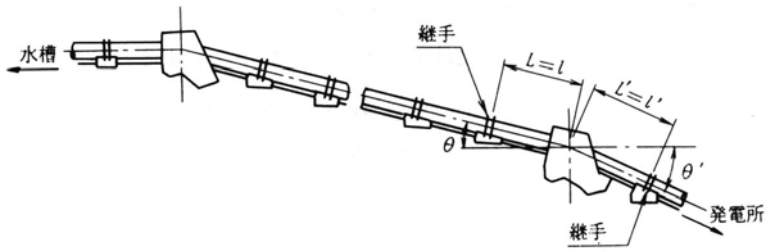


図-43-1　一般市販管による水圧管路縦断面図

表-43-1　安定計算に考慮する荷重の組み合わせ

荷　　重	支台の安定計算	アンカブロックの安定計算
(1)支台又はアンカブロックの質量	○	○
(2)支台又はアンカブロックが支持する管（継手，異形管などの付属設備を含む）及び水の質量，載荷重，雪荷重	○	○
(3)管軸方向の推力		
(a)一般市販管による水圧管路の自重による推力	○	○
(b)管内水の摩擦による推力	○	○
(c)漸縮管に作用する内圧による推力	－	○
(d)継手に作用する内圧による推力	○	○
(e)支承部摩擦力	○	○
(f)継手摩擦力	－	○
(4)わん曲部に作用する遠心力	－	○
(5)わん曲部に作用する水圧による不平衡力	－	○
(6)地　震　力	○	○
(7)風圧による側面からの力	○	○
(8)温度変化に伴う管の伸縮による軸方向の摩擦力	○	○

(1)　支台又はアンカブロックの質量

支台又はアンカブロックの質量は，一般市販管による水圧管路によって排除された部分を差し引かなければならない。

(2)　支台又はアンカブロックが支持する管（継手，異形管などの付属設備を含む）及び水の質量，載荷重，雪荷重

支台又はアンカブロックが支持する管（継手，異形管などの付属設備を含む）及び水の質量，載荷重，雪荷重については，通常，上下流側に隣接する継手までとする。

上部管について　$W = (W_w+W_s+W_0)\cdot g\cdot \ell$

下部管について　$W' = (W_w+W_s+W_0)\cdot g\cdot \ell'$

ここに，W，W'：支台又はアンカブロックが支持する管（継手，異形管などの付属設備を含む）及び水の質量，載荷重，雪荷重として作用する重力(kN)

g：単位質量当りの重力(9.8N/kg)

(3) 管軸方向の推力

(a) 一般市販管による水圧管路の自重による推力

上部管について　$P_1 = Ws \cdot \ell \cdot g \cdot \sin\theta$

下部管について　$P_1' = Ws \cdot \ell \cdot g \cdot \sin\theta'$

(b) 管内水の摩擦による推力

上部管について　$P_2 = \dfrac{2 \cdot fw \cdot Q^2 \cdot \ell}{g \cdot \pi \cdot D_0^{\,3}}$

下部管について　$P_2' = \dfrac{2 \cdot fw \cdot Q^2 \cdot \ell'}{g \cdot \pi \cdot D_0^{\,3}}$

ここに，Q：管内流量(m^3/s)

fw：管内流水の摩擦抵抗係数 $0.2D_0^{-1/3}$(kN/m^3)

P_2，P_2'は他の諸力に比べて小さいので，通常省略することができる。

(c) 漸縮管に作用する内圧による推力

上部管について　$P_3 = P_T(A_1 - A_2)$

下部管について　$P_3' = P_T'(A_1' - A_2')$

ここに，P_T，P_T'：漸縮管の中心における水圧(kPa)

平常時は設計内圧，地震時は静水圧とする。

A_1，A_1'：漸縮管上流部の管内断面積(m^2)

A_2，A_2'：漸縮管下流部の管内断面積(m^2)

(d) 継手に作用する内圧による推力

上部管について　$P_4 = H_E \cdot \dfrac{\pi}{4}(D_2^{\,2} - D_0^{\,2})$

下部管について　$P_4' = -H_E \cdot \dfrac{\pi}{4}(D_2'^{\,2} - D_2'^{\,2})$

ここに，H_E，H_E'：継手の中心における水圧(kPa)

平常時は設計内圧，地震時は静水圧とする。

D_0，D_0'：継手の管内径(m)

D_2，D_2'：継手の管外径(m)

(e) 支承部摩擦力

上部管について　$F_1 = f_{sp} \cdot W \cdot \cos\theta$

下部管について　$F_1' = f_{sp} \cdot W' \cdot \cos\theta'$

ここに，f_{sp}：摩擦係数(第 25 条による。)

(f) 継手摩擦力

上部管について　$F_2 = f_E \cdot \pi \cdot D_2$

下部管について　$F_2' = f_E \cdot \pi \cdot D_2'$

ここに，f_E：継手の円周長 1m 当たりの摩擦力＝7(kN/m)

(4) わん曲部に作用する遠心力による推力

上部管について　P_5　$=\rho_w \cdot v^2 \cdot A$

下部管について　$P_5' = -\rho_w \cdot v'^2 \cdot A'$

ここに，v：わん曲部上流側の流速(m/s)

v'：わん曲部下流側の流速(m/s)

A　：わん曲部上流側の管内断面積(m^2)

A'：わん曲部下流側の管内断面積(m^2)

(5) わん曲部に作用する不平衡力による推力

上部管について　P_6　$=HA$

下部管について　$P_6' = -HA'$

ここに，H：わん曲部の中心における水圧(kPa)

平常時は設計内圧，地震時は静水圧とする。

なお，(4)及び(5)については，上，下流部管の管径が等しいとき，それぞれの管に働く推力の合力が次式で与えられる。

$$Pc = 2\rho_w \cdot v^2 \cdot A \cdot \sin(\phi/2)$$

$$P_R = 2H \cdot A \cdot \sin(\phi/2)$$

ここに，P_c：わん曲部に作用する遠心力

P_R：わん曲部に作用する不平衡力

φ：わん曲部の合成角

$F = F_1 + F_2$，$F' = F_1' + F_2'$とおくと，これらの摩擦力は管の温度変化によってその方向が逆になるから，推力としては，次の組み合わせの内不利な方を採用する。

上部管からの推力　$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 \pm F$

下部管からの推力　$P' = P_1' + P_2' + P_3' + P_4' + P_5' + P_6' \pm F'$

なお，管軸方向の推力としては，制水弁のある場合で，閉鎖時に弁に作用する内圧による管軸方向の推力が働く場合は，これを考慮しなければならない。

(6)　地震力

地震力 Pe は，次式で求める。

$$Pe = k(W_1 + W_2)g$$

ここに，k：水平震度

W_1：支台又はアンカブロックが一体となって地震力が働くと考えられる一般市販管による水圧管路と水の質量

W_2：支台又はアンカブロックの質量

支台又はアンカブロックの設計においては，一般に k＝0.10～0.15 の値が採用されている。ただし地盤が不良の場合や土中埋設管の場合は，別途検討して定める必要がある。

(7)　風圧による側面からの力

一般市販管による水圧管路では空虚時の風圧が支台又はアンカブロックの設計の一要素となることがある。

風による側面からの力 P_W は，支台間隔が一定であるとすると，次式で与えられる。

$$P_w = Q_w \cdot \ell$$

ここに，Q_w：管軸方向単位長さ当りの風による側面からの力

(8)　温度変化に伴う管の伸縮による軸方向の摩擦力

ポリ管及びリブ管（融着継手）を支台やアンカブロックで支持する場合は，温度変化に伴う管の伸縮による軸方向の摩擦力を適切に評価し，支台又はアンカブロックに作用する荷重として考慮しなければならない。

(支台及びアンカブロックの安定検討)

第44条　支台及びアンカブロックは,転倒,滑動,圧壊に対して安全でなければならない。

〔解説〕

支台及びアンカブロックに働く力の合力は転倒及び滑動を起こす傾向に作用する。また，アンカブロックの破壊は，全体の剛体的移動とアンカブロック自体の破壊とに区分することができる。

前者の破壊の原因としては，転倒及び滑動の2つがある[1)]。

転倒に対する安定条件としては，外力作用位置偏心量で規定する方法が広く行われている。この方法は,長方形基礎の場合ミドルサード(middlethird)の条件と呼ばれる。すなわち，反力及び質量(自重)を含む支台に働く諸力を最悪条件のもとに合成して合力の作用線の位置を照査し,作用線の位置が,常時においてはアンカブロック中央1/3に，また，地震時においてはアンカブロック中央2/3に，それぞれ入るようにしなければならない。

ミドルサードの条件自体は，アンカブロック内又は基礎地盤面に引張応力を生じないという条件を表している。したがって，作用線の位置が中央1/3の外側となることは，引張応力を生じることになるが，地震時にアンカブロックの安定が保たれる限りこれを認めてもよいものとする。

図-44-1に示すような単位厚さのアンカブロックを考えると，上記の条件によれば，アンカブロック縁における最大圧縮応力 σ_c は，常時には $\sigma c = 2F_v/B$ であるのに対して，地震時には $\sigma_c = 3F_v/B$ で，常時の1.5倍となる。

1)Creager,W.P,and Justin, J.D., Hydroelectric Handbook,Chap.17.p337.John Wiley&Sons,Inc.New York,1949

すなわち，上記の条件は，本節第 42 条〔解説〕に示すように，地盤の許容支持力を 1.5 倍に割増したのと同じ効果をもつ。また，地震時において，基礎の引張応力を期待しない場合は$\sigma_c = 4F_v/B$で常時の 2 倍となる。

転倒に対して安全であるためには，アンカブロック縁における圧縮応力が地盤の有害な変位を起こさないものでなければならない。これには，本節第 42 条に述べるようにアンカブロック縁における地盤反力を適切な許容支持力以内に規制することが必要である。

一方，転倒に対する検討方法としては，ミドルサードの条件以外に，以下に述べる抵抗モーメントによる方法がある。すなわち，転倒に対して安定であるためには，外力による転倒モーメントよりもアンカブロックの抵抗モーメントが大きいことが必要である。この条件に対しては，通常，安全率を見込んで次式が用いられている。

$$M_r \geqq S_f \cdot M_f$$

ここに，M_r：抵抗モーメント

M_f：外力による転倒モーメント

S_f：安全率

通常，抵抗モーメントの計算には，アンカブロックの前縁を回転中心として用いている。また，安全率 S_f の値としては，通常，常時は 2，地震時は 1.2 とする例が多い。

滑動に対して安全であるためには，アンカブロックに働く合力の底部に垂直な成分は，底部に平行な成分をアンカブロックの底部における摩擦係数で割った値より大きくなければならない。

アンカブロックと地盤間の摩擦係数は，基礎の状況に応じて決定するものとする。例えば「道路橋示方書」では，次の値を標準にとっている[2)]。

岩盤とコンクリートの場合　0.60

土とコンクリートの場合 $\tan\left(\frac{2}{3}\phi\right)$（$\phi$は地盤材料の内部摩擦角）

なお，滑動に対する安定性を向上させるためアンカブロックの底部を顕著な歯形に整形する場合や，アンカブロックと地山との接触部で安定が得られても基礎地盤内に不安定な滑り面が想定される場合には，特に，地質評価や力解析などの詳細な検討が必要である。

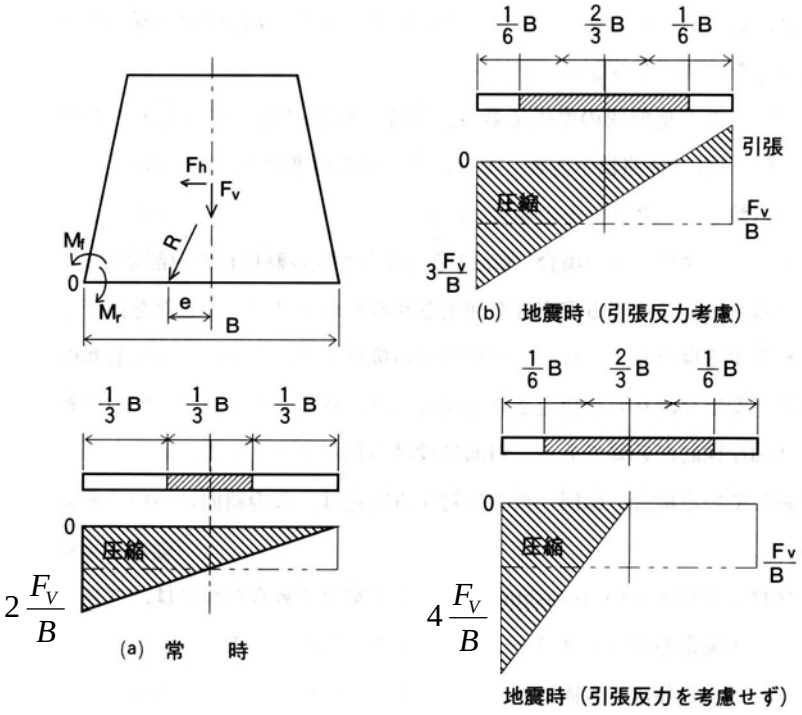
アンカブロックの圧壊(crushing)に対して安全であるためには，アンカブロックに生ずる圧縮応力がコンクリートの許容応力を超えてはならない。

アンカブロック自体は，強固で多少の引張力には抵抗し得る構造と考えてよい。

このために，任意の水平断面で安定を検討する必要はなく，支台と基礎の境界面のみについて検討すればよい。

---

2)(社)日本道路協会，道路橋示方書・同解説，下部構造編，p281.2002.



（σ_c：ブロックにおける最大圧縮応力
F_V:鉛直荷重，F_h:水平荷重，B:ブロックの幅，e：偏心量）

図-44-1　ブロックに働く荷重と反力

（支台の支承部）

第45条　支台の支承部は一般市販管による水圧管路が伸縮に際して安全に，かつ円滑に移動できるような構造としなければならない。

〔解説〕

管の支持方法としては，支点における管の変形を少なくし，かつ温度変化，及び内圧等による管の軸方向の伸縮に対して管が容易に移動できる構造でなければならない。各種支承の摩擦係数は第25条に従う。

一般市販管による水圧管路の支持形式としては，サドルサポート形式が一般的であるが，コンクリートに直接接触して支持することは好ましくなく，コンクリート上面にゴムなどの緩衝材を設置するか，管と支台との間にサドルプレートを入れた構造とする。

(アンカボルト等)

第 46 条　水圧管に作用する上向きの力を直接下部工に伝達させることが必要とされる場合には，一般市販管による水圧管路にアンカボルト，アンカバンド，又はその他の構造物を設けて固定しなければならない。

〔解説〕

一般市販管による水圧管路は，例えば次のような場合，アンカボルト，アンカバンド又はその他の構造物を設けて,外力を直接アンカブロック等に伝える構造とする。

1)　支台において風荷重又は地震力によって管が浮き上がる恐れのあるとき
2)　アンカブロックの位置において，水圧管の上部が露出して設けられ，遠心力や不平衡力等が作用し，管路に上向きの力が発生するとき
3)　水圧管の上部コンクリートの被覆厚が小さく,アンカブロックに引張応力が発生するとき
4)　管がアンカブロック内に固定される部分,又はトンネル内に埋設される部分で，コンクリート打設時に一般市販管による水圧管路に浮力が働くとき
5)　地下水位が高いため，管内空虚時に浮力が働く恐れのあるとき

なお，管軸方向に働く外力に対しては第 37 条のスラストカラを設ける。

アンカボルトの設計において，コンクリートに埋め込むアンカボルトの許容付着応力は，表-46-1 の値以下とする。

また，コンクリートの許容支圧応力は $0.3\sigma_{ck}$ 以下とする。コンクリートの σ_{ck} は水－セメント比，セメント及び骨材の強度，養生方法等により異なるので，その値は施工の条件に応じて決められるべきである。

硬化前のコンクリートの密度は 2300kg/m^3 とする。地震，風の影響及び一時荷重を考えた場合の許容応力は「コンクリート標準示方書」[1)]による。

表-46-1　アンカボルトの許容付着応力

鋼棒の種別	コンクリートの 28 日設計基準強度 σ_{ck} N/mm^2			
	17.7	23.5	29.4	39.2
普通丸鋼	0.69	0.78	0.88	0.98
異形棒鋼	1.37	1.57	1.77	1.96

1)(社)土木学会，コンクリート標準示方書

第 6 節　製　　作

(試験及び検査)

第 47 条　主要耐圧部は，工場製作後，製品について試験及び検査を行い，その品質が必要な仕様を満足することを確認しなければならない。

2．主要耐圧部は，使用条件に応じて材質についての試験を行い，強度，耐食性等，必要な仕様を満足することを確認しなければならない。

3．継手については試験及び検査を行い，その強度及び水密性を確認しなければならない。

〔解説〕

1． 工場における主要耐圧部の試験及び検査は，原材料の試験，製品検査，及び材質試験に分けることができる。このうち，原材料についての試験検査は第 9 条に規定する。

製品の試験検査については当該 JIS などに準じて行うことができる。ただし，各試験項目の要求値は，計画地点の条件に応じて適切に設定する。試験及び検査の項目については，当事者間の合意により増減することができる。

2．製品についての試験及び検査では不足な場合，材質に関する試験を行うこととする。

試験の項目としては，引張強度，圧縮強度，せん断強度，曲げ強度等が考えられる。これらの強度試験については, JIS にそれぞれ試験方法が規定されているので, JIS に従って試験を行えばよい(第 9 条参照)。

3．本基準(案)で対象とする一般市販管による水圧管路の継手（接合部）は以下の試験を実施するものとする。

1) 接合部水密試験
2) 接合部偏圧水密試験
3) 接合部曲げ水密試験
4) 接合部引張強度試験

なお，製作工場において，JIS などの当該規格に適合させるために各種試験を実施し，継手に関するデータ（強度，水密性）を的確に把握している場合は，これらの試験を省略することができる。また，当事者間の合意により試験検査項目を増減することができる。

これらの試験は抜取検査によって実施するものとし，1 つの管種及び呼径を 1 ロットとし, 1 ロットごとに 1 本を試験するものとする。1 ロットの内容は当事者間の協議によって増減することができるものとする。

（付属設備の製作）

第 48 条　主要耐圧部と一体となる主要な付属設備は，主要耐圧部と同等の品質が得られるよう，2 次応力の発生を考慮した方法によって製造しなければならない。

〔解説〕

主要耐圧部と一体となる主要な付属設備にはスラストカラ等がある。これらは，主要耐圧部と同様の応力を生じるほか，特に接合部などでは 2 次応力が発生することがあるので，製造に当たってはこのことを十分考慮する必要がある。

第 7 節　据 付 け

(取扱い)

第 49 条　一般市販管による水圧管路は，据付時の運搬過程において，変形及び破損が生じることのないように，その取り扱いについて十分注意しなければならない。

〔解説〕

水力発電所は一般に交通不便な場所にあり，工場から現場に至る輸送条件が悪い場合が多く，さらに現場においても露出管の場合は，山の急斜面に据付けたり，また，埋設管においては狭い搬入路を通って運ぶ等，現場の水圧管置場から据付位置への運搬条件が悪いのが普通である。

したがって一般市販管による水圧管路据付時の運搬過程においては管が変形したり破損したりすること等がないように,その取扱いについては十分な注意が必要である。特に管の挿口外面及び受口内面は接合部として重要な部分であり，傷をつけることの無いよう十分に注意しなければならない。また，ワイヤロープ等を使用する場合は，管胴に傷が入らないように，当布を用いるなどの注意が必要である。

管胴にあらかじめ装着してあるゴム輪の場合は，水密ゴムの劣化防止用保護テープが破れないように注意する。現場にて装着するゴム輪の場合には，使用するまで倉庫又は冷暗所に保管する等，適切な管理を行わなければならない。現場でのゴム輪の受口溝への装着は，管及びゴム輪をよく清掃した後，仮置場で実施し，その後，接合場所への搬入を行うことが多い。

現場運搬にはトレーラ，ケーブルクレーンやインクライン等が採用されている。

現場据付けの際には，例えばケーブルによる運搬途上において引きワイヤの切断のために管を地上に落としたり，また，インクラインによる据付けの際に管を管路斜面に沿って落下させて管を破壊しないように，据付け実施前に据付用機器について十分な検討をしておかなければならない。特に一般市販管の力学的性質を考慮し，集中荷重をできるかぎり避け，ジャッキアップ等の際には当板等を用いて荷重を分散させるよう注意しなければならない。

(据付一般)

第 50 条　一般市販管による水圧管路は，位置及び形状を設計通りに据付けなければならない。

〔解説〕

一般市販管による水圧管路の据付けには，水圧管中心線と中心高を付近構造物その他に正確に引照点として印しておき，これを基準として芯出しを行う。

まず曲管を据付け，これを固定し，これより上流部(調整管がアンカブロックの直下流にある場合)又は上下流部(調整管が 2 個のアンカブロックの中間部にある場合)に向かって据付けることが多い。

土中埋設管の場合には，設計条件に合致するような土砂を使用して埋戻し，適切な施工管理に基づいて締固めなければならない。

なお，一般市販管による水圧管路の据付は，農林基準の施工に関する規定事項が参考となる。

(継手の施工)

第 51 条　継手の接合に際しては，設計通りの継手性能が得られるよう施工しなければならない。

〔解説〕

一般市販管による水圧管路を継手接合する際には，受口内面と挿口外面をよく清掃したうえで接合しなければならない。また，ゴム輪継手の場合で，何らかの理由によって標線(継手の差し込み深さを規定する標準線)の現場確認が困難な場合には，挿口の所定位置にストッパを取付けておく方法もある。この場合，規定位置まで挿入後，ゲージ等によってゴム輪が所定の位置あることを全周にわたって確認すればよい。ストッパのない継手の場合には，挿口がゴム輪バルブ部を通過した後は弱い引張力でも一気に奥まで入り込みすぎることがあるので，注意する必要がある。

また，継手の折曲り角については，設計値に対する具体的な据付管理値を決めて，これを遵守する。

異種管との継手接合に際しては，押輪の芯出し，ボルトの均等な締付けによるセンタリング等，計画通りの継手性能が得られるよう，正しい手順で施工しなければならない。

なお，一般市販管による水圧管路の継手の施工では現場漏水試験（継目試験）を実施するのが望ましい。試験方法としては，テストバンドにによる水圧試験，気密試験などがある。試験方法，試験実施箇所については当事者間の協議により決定するものとする。

ポリ管のバット融着の際に発生する内面こぶ（内ビード＝圧着よって生じる内面の盛り上がり）については，特に管が細い場合や管内流速が大きい場合など，水の流れに対する影響が大きいと考えられる場合において除去を検討する。内面こぶの除去は，施工直後に専用の器具（小口径の場合）又は手作業（大口径の場合）によって行われ

る。なお，水道基準では内面こぶの除去を規定していない。

(調整管)

第 52 条　一般市販管による水圧管路の据付けにおいて設計長さの調整が必要な場合は，調整管を設けるものとする。

〔解説〕

据付に際して，アンカブロック間の距離が長い場合や，管路の傾斜角度が大きい場合等には，設計長に余裕を加えた長さを持つ調整管を準備し，現場で必要な長さに切断して調整を行うことがある。調整管の例を，図-52-1 に示す。調整管は長さを調整して切断し，適切な端部処理を施した後，曲管や受口付きフランジ単管と接続する。

また，アンカブロック間に止むを得ず管芯のずれが生じた場合は，末端の 2～3 本の管を施工範囲以内で調節して接続することにより，ずれを吸収すればよい。

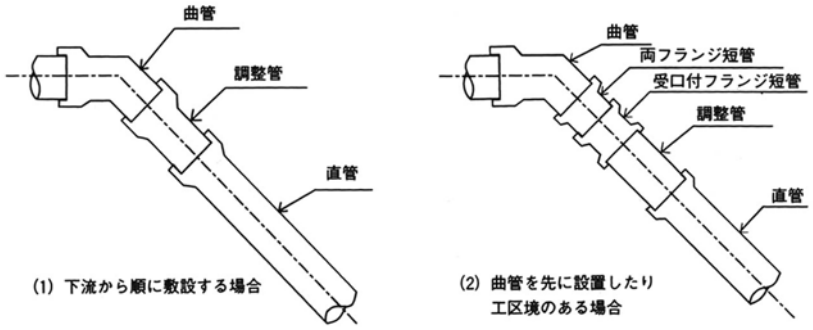


図-52-1　調整管の使用例 [1)]

(充水及び運転試験)

第 53 条　一般市販管による水圧管路は，据付完了後充水し，静水圧による水密検査を行ったうえ，負荷遮断試験を含む運転試験により水圧管路全体の異常の有無を検査し，安全性の確認を行わなければならない。

〔解説〕

一般市販管による水圧管路の据付完了後，内部を清掃，点検のうえ，適切な時期に制水門扉又はバイパス弁を使用して管内に充水し，充水中及び充水後における管の異常の有無を点検しなければならない。露出形式水圧管の場合の水密試験は主として目視によって行う。土中埋設形式水圧管の水密試験は，管路の一部区間又は全区間の完成後に充水して,一定時間(例えば 24 時間)において水位を一定に保つための補給水量やあるいは水位の変化を調べる方法がある。

発電所の運転試験においては，水圧上昇時の管の挙動や振動等，管全体の異常の有

無を検査し，安全性を確認しなければならない。

(銘板)

第 54 条　一般市販管による水圧管路には，最大設計水頭，延長（分岐部は区別する），内径（上部及び下部），使用材料（管種），製作年月日，水圧管の製作者等を記載した銘板を取付けるものとする。

〔解説〕

銘板を取付けるのは将来水圧管に関する問題，例えば水圧管の補修，改造，事故等の際に参考にするためである。

必要な記録が確実に保存されいつでも見ることができる場合には，必ずしも銘板の必要がないと考えられるが，記録消失の恐れを考慮し，銘板を取付けておくものとする。

水圧管は水車・発電機と運転上密接な関連性を持っており，保守の点より発電所勤務員に周知せしめるにも役立つ意味から，露出管の場合は最下部のアンカブロック付近，埋設管の場合は発電所の外壁付近など管路に近い目立つ位置に取付けるのが望ましい。

記載事項については必要最小限の一般的な標準を示したもので，これ等の項目以外も記入してよい。

銘板の材料，形状，寸法，記載要領，書体などについては JIS Z 8304(1984)「銘板の設計基準」に従って,周囲と釣合いのとれたものを使用するのがよい。一例を図-54-1 に示す。

なお，銘板には腐食しにくい材料を使用するのが望ましい。

○○発電所水圧管路

最大設計水頭	50.00 m
延　　長	70.05m
内　　径	350-400mm
使 用 材 料	硬質塩化ビニル管(VU) (JIS K 6741 (2004))
製 作 年 月 日	○○年○○月
製　　作	○○○○株式会社

図-54-1　銘板の例

第 8 節　保守管理

(漏水の防止)

第 55 条　発電運用に支障をきたすような,主要耐圧部,継手及び付属設備からの漏水は速やかに補修しなければならない。

〔解説〕

巡視または点検などにおいて主要耐圧部，継手及び付属設備からの漏水を発見した場合は，その原因を明らかにしたうえで，効果的な補修を速やかに行うものとする。

(継手の整備)

第 56 条　継手は,その機能を維持できるように常に整備しなければならない。

〔解説〕

継手のくぼみ，凹部などには，異物がたまらないように常に点検し，整備しておくものとする。

継手は，十分な水密性をもち，かつ，温度変化などに円滑に伸縮するようにしなければならない。

露出形式一般市販管による水圧管路の場合，継手の止水ゴムが紫外線にさらされたりするのを防ぐため，継手と管胴本体との隙間に詰め物をすることが多い。この詰め物は，同時に，隙間に土砂などの異物や水が溜まらないようにする役目もする。

詰め物が劣化した場合には，速やかに取替えを行うのが望ましい。

(空気管及び空気弁の整備)

第 57 条　空気管及び空気弁は，一般市販管による水圧管路内の水を安全に排除するため，その機能を満足するよう適切に整備しなければならない。

〔解説〕

一般市販管による水圧管路の排水に当たって，空気管及び空気弁の不動作は管の圧壊を引き起こす危険性がある。このため，空気管及び空気弁の機能が完全であることを確かめた上でなければ排水してはならない。これらの点検並びに排水に当たって注意すべき事項は，次のとおりである。

1)　空気管は，内部の点検，清掃に留意し，空気弁は，その機能をよく理解して異常ないことを確認しなければならない。

2)　冬期,充水のまま一定時間運転を中止していた一般市販管による水圧管路の管内排水を行う場合には,空気管又は空気弁の凍結の有無に特別の注意を払わ

なければならない。

3) 排水に当たっては，排水弁により試験排水を行い，空気管又は空気弁の作動を確認した後，排水弁を漸次解放する方法を取らなければならない。

4) たとえ空気管又は空気弁の異常のないことが確認された場合でも，決して制圧機による排水を行ってはならない。

(振動の軽減)

第 58 条　発電所の運転中に一般市販管による水圧管路の振動が発電所の運転に支障をきたすと認められる場合には，これを軽減するよう適切な措置を取らなければならない。

〔解説〕

一般市販管による水圧管路は，FRP(M)水圧管と同様に，水圧鉄管と比べ振動が発生しにくい材質，構造であると考えられるため，一般的に発電所の運転中の振動は大きな問題にはならない。しかし，振動を設計段階で正確に予測することは難しい。このため，一般市販管による水圧管路の使用に当たっては，完成後，例えば負荷遮断試験時などに振動を測定し，それが有害なものでないことを確認することが望ましい。

振動が問題となるのは運転中に常時生じているような振動であって，負荷遮断試験時の一時的な圧力変化によるものは，例えそれによる変化量が大きくても問題にならない場合がほとんどである。

運転中の一般市販管による水圧管路の振動観察の方法及び振動が観察された場合の対策については，「水門鉄管技術基準」水圧鉄管編第 98 条に準拠する

(完成後の水質に対する考慮)

第 59 条　一般市販管による水圧管路完成後に，流域変更，水源における水質の変化，その他の原因により管内流水が変化し，管本体に悪影響を及ぼす状態になったと認められるときは，水圧管の劣化を軽減できるような措置を取らなければならない。

〔解説〕

一般市販管による水圧管路は，わが国で通常考えられる水質において，使用上問題はない。

一般市販管による水圧管路の完成後に，流域変更などにより pH 値の高い河川からの取水，水源地帯における火山活動，その他の原因による流砂量の増加，水温の上昇などにより水質の変化が生じ，管本体などに悪影響を及ぼす状態になったと認められるときは，第 21 条及び第 22 条を参考に，適切な対策を講じなければならない。

(管の点検)

第 60 条　一般市販管による水圧管路は，水圧管の維持に必要な点検を実施しなければならない。

〔解説〕

一般市販管による水圧管路は，定期的な点検を行い状況によって適切な調査を実施したうえ，安全性が損なわれる場合には危険箇所の補修又は改修を行って一般市販管による水圧管路の安全を期さなければならない。

なお，一般市販管による水圧管路の状態は経年により変化する可能性があるので，目視による管の劣化状況（白濁化）の確認，継手の胴付間隔の計測，管辺を採取しての強度試験，管の周辺地盤を調査するなど，管及びその周辺を調査，観察するものとする。

(補修又は取替え)

第 61 条　一般市販管による水圧管路は，材質の変化,継手の水密性の低下，管厚の減少などにより，水圧管路の安全性に支障をきたすと認められるときは,速やかに補修又は取替えを行わなければならない。

〔解説〕

一般市販管による水圧管路の補修については，水道や農業で利用される補修用資材の適用が考えられる。なお，補修又は取替えを行う必要がある場合は，下記により一般市販管による水圧管路の安全性に支障をきたすと判断されるときである。

1)　経年による水圧管の材質の変化や管の摩耗の進行により,管の破壊強さが低下したとき
2)　落石などにより管に損傷が生じたとき
3)　継手のゴムの損傷又は何らかの原因で漏水が生じ許容できないとき
4)　その他の要因で管の機能又は強度が低下し使用できないとき

(支台及びアンカブロックの補修)

第 62 条　支台及びアンカブロックは,ひび割れ又は移動を生じ,それらの機能維持に支障があると認められるときは,速やかに補修しなければならない。

〔解説〕

支台及びアンカブロックについて，もし，損傷を発見した場合には，状況をよく確認しておき，ひび割れ，コンクリートの劣化又は移動などの進行状況は記録に残しておくべきである。ひび割れについては，モルタル塗布(モルタルに発生するひび割れに

よりコンクリートのひび割れの進行を調べる方法)及びひび割れ部の間げきの測定などにより，また，移動については，基準点の観測によって調査し，維持管理上支障があると認められるときは，これら構造物の補修又は移動防止対策を講じなければならない。

(敷及び切取りのり面の保護)

第63条　敷及び切取りのり面は,一般市販管による水圧管路の機能維持に支障がないよう，常に整備しなければならない。

〔解説〕

敷及び切取りのり面は，雨水などによる侵食や凍土による崩壊を抑制するため，植生による地表面の保護工や現場状況に応じた排水工などにより，適切に備し，その機能が低下し問題など発生しないように，常に整備しておくものとする。

Ⅲ　地下調整池による水路式発電所増強技術開発調査結果

Ⅲ－１　地下調整池 開発計画マニュアル

地下調整池　開発計画マニュアル

平成１９年３月

財団法人　新エネルギー財団

（経済産業省　資源エネルギー庁　委託調査）

まえがき

これまでの水路式水力発電所は、河川水をそのまま取水して発電しているため、ピーク対応の電源とはなっておらずベース電源として位置付けられている。

「地下調整池による水路式発電所技術開発調査」の目的は、夜間（オフピーク時）の河川水を新たに設置する地下調整池に貯留し、昼間のピーク時間帯にピーク発電を行う調整能力を流れ込み式水力発電所に付加するとともに、発電電力量の増加を図るものである。

本調査は、「効率的な水運用技術の開発」と「地下調整池構築技術の開発」及びこれらを組み合わせた「開発計画支援システム」を構築し、経済的な地下調整池の規模、運転パターンの設定が容易にできることを目的とする。

表 1　調査スケジュール

調査項目	14 年度	15 年度	16 年度	17 年度	18 年度	備　　考
基本構想の検討						
現状調査・技術検討						
ケーススタディ						
経済性評価方法の検討						
実証試験要領作成						
実効性の再検証						
既設地点への適用による本技術の効果の検証						ｱﾝｹｰﾄ結果のﾌｫﾛｰ
地下調整池 開発計画支援システムの構築						
地下調整池 開発計画マニュアルの策定						

(1) 平成 14 年度の調査内容

平成 14 年度は、事前可能性調査の内容を整理し、今後の技術的課題、発電所の立地環境条件（新設、既設、単独、シリーズの別など）を再確認し、本調査の方向性を明確にした。地下調整池の構築技術の現状調査を行い、経済的に地下調整池を構築するための技術開発項目を抽出した。

(2) 平成 15 年度の調査内容

平成 15 年度は、要素技術の検討として、地下調整池の接続方式の違いによる構造的、水理的課題の検討、シリーズの発電所の効率的な水運用方法および地下調整池構築において導入が見込まれる新技術の工費・工期低減効果、概算工事費算定フローの検討を実施した。

(3) 平成 16 年度調査内容

平成 16 年度は、具体的地点におけるケーススタディによる課題の抽出および検討を実施した。さらに、実証試験のための試験要領を作成した。

(4) 平成 17 年度の調査内容

平成 17 年度は、本調査により期待される技術開発効果を定量的に把握し検証することで、本調査の実効性を再検証した。実効性の確認後、開発計画支援システムおよび地下調整池　開発計画マニュアルの骨子を策定した。

(5) 平成 18 年度の調査内容

平成 18 年度は、平成 17 年度に実施した事業者へのアンケート結果のフォローを実施した。さらに、平成 17 年度までにとりまとめた成果をベースに協議・検討を重ね、開発計画支援システムを構築するとともに、それらをとりこんだ地下調整池　開発計画マニュアルを策定した。

地下調整池部会　委員名簿

（平成18年度）

役名	氏　名	所　属　お　よ　び　職　名		
主査	尾関　正典	中部電力(株)	発電本部　土木建築部	業務ｸﾞﾙｰﾌﾟ長・部長
委員	田畑　規志雄	北陸電力(株)	土木部　土木計画チーム	副課長
委員	林　三千夫	関西電力(株)	土木建築室　土木グループ	リーダー
委員	浅川　晴俊	山梨県企業局	電気課	課長補佐
委員	黒川　昌彦	東京発電(株)	水力事業部　設備管理･開発グループ	マネージャー

本マニュアルは、平成１８年度に資源エネルギー庁の委託により（財）新エネルギー財団が実施した、「水力資源有効活用技術開発調査」のうち、「地下調整池による水路式発電所増強技術開発調査」の成果をとりまとめたものである。

本調査を実施するにあたっては、（財）新エネルギー財団に上記専門部会を設置し、本調査に関する基本事項、具体的・専門的事項について審議した。

目　　次

第１章 一般 1-1
１．１ 目的 1-1
１．２ 地下調整池システムの基本概念 1-2
１．３ 本技術により期待される効果 1-5
１．４ 適用範囲 1-6
１．５ 検討の進め方 1-7
第２章 調査・計画 2-1
２．１ 調査 2-1
２．１．１ 調査目的 2-1
２．１．２ 調査項目 2-1
２．１．３ 調査の区分 2-5
２．２ 計画 2-6
２．２．１ ピーク継続時間 2-6
２．２．２ 地下調整池容量 2-7
２．２．３ 接続パターンと流量制御方法 2-8
２．２．４ 地下調整池貯留可能高さの制約 2-11
２．２．５ その他 2-13
第３章 設計 3-1
３．１ 地下調整池容量 3-1
３．２ 地下調整池構造 3-4
３．２．１ 施工断面の標準化 3-4
３．２．２ 地下調整池構造の設定 3-9
３．３ 調整池運転パターン 3-15
第４章 施工 4-1
４．１ 地下調整池の施工法について 4-1
４．２ 発破掘削工法による地下調整池トンネルの施工 4-2
４．２．１ 施工概要 4-2
４．２．２ 長孔発破技術 4-3
４．２．３ 爆薬技術 4-5
４．２．４ コンピュータ制御自動削孔技術 4-7
４．２．５ 高強度吹付けコンクリート技術 4-9
４．２．６ シングルシェル技術 4-10
４．３ ＴＢＭ掘削工法による地下調整池トンネルの施工 4-13
４．３．１ 施工概要 4-13
４．３．２ カッタービットの急速交換技術 4-14
４．３．３ カッタービットの長寿命化技術 4-15
４．３．４ 簡易ライナーの導入 4-16

４．３．５ 楕円ＴＢＭの採用 ４-１７
４．３．６ シングルシェル技術 ４-１８
第５章 工事費 ５-１
５．１ 工事費と工期の算出について ５-１
５．２ 発破掘削工法による地下調整池トンネルの工事費と工期の設定 ５-３
５．２．１ 発破掘削工法による地下調整池トンネルの工事費 ５-３
５．２．２ 発破掘削工法による地下調整池トンネルの工期 ５-８
５．３ ＴＢＭ掘削工法による地下調整池トンネルの工事費と工期の設定 ５-１２
５．３．１ ＴＢＭ掘削工法による地下調整池トンネルの工事費 ５-１２
５．３．２ ＴＢＭ掘削工法による地下調整池トンネルの工期 ５-１７
第６章 経済性評価 ６-１
６．１ 経済性評価手法 ６-１
第７章 発電所の運転維持管理 ７-１
７．１ 発電所の運転 ７-１
７．１．１ 発電所運転パターンの設定 ７-１
７．１．２ 流量制御方法 ７-２
７．１．３ ゲート制御方式 ７-６
７．１．４ 水車ガイドベーン制御方式 ７-７
７．２ 発電所の維持管理 ７-１３

（巻末資料）

１．地下調整池　開発計画支援システム　説明書・・・・・・・・・・・・・・・・資料 1-1
２．ケーススタディ結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・資料 2-1
３．工事費算定システム基準・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・資料 3-1
４．地下調整池ピーク継続時間の簡易算定方法・・・・・・・・・・・・・・・・資料 4-1
５．遺伝的アルゴリズム（ＧＡ）の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・資料 5-1
６．地下調整池　構築技術　コスト低減要因・・・・・・・・・・・・・・・・・資料 6-1

第１章 一般

１．１ 目的

本マニュアルは、水路式発電所の導水路に地下調整池を構築し、河川流量の少ない時期でも、夜間のオフピーク時に貯留した河川水を昼間のピーク時間帯に利用して、最大出力での発電と発電電力量（kWh）の増加を図ることにより、河川の貴重な水資源の有効活用を促進する手法を示す。

【解説】

水力発電は再生可能エネルギーの中では最も安定した発電ができる優れたエネルギーであり、エネルギーセキュリティの面から、またCO_2削減対策上も、水力発電の開発によって、自然河川の貴重な水資源を有効活用する必要性は高まってきている。

これまでの水路式水力発電所は、河川水をそのまま取水して発電しているため、ピーク対応の電源とはなっておらずベース電源として位置付けられているが、流量変化のある河川水を調整する機能を付加することができれば、水資源を有効に活用し有効出力と発電電力量を増加させること、すなわち、潜在化している発電規模を顕在化させることが可能となる。しかしながら、現状では、経済性の悪化や環境保全への一層の配慮が必要となるため、地上における調整機能の付加が困難な状況にある。

このような背景のもと、水資源の有効活用と環境への負荷抑制の観点から、水路式水力発電所の導水路に地下調整池を構築して調整機能を付加することにより、最大出力での発電と発電電力量の増加を図るという新たな発電方式「地下調整池による水路式発電所増強技術」を考案するとともに、本発電方式に必要となる要素技術として、効率的に河川水を運用する技術（水運用技術）と低コストで地下調整池を構築する技術（地下調整池構築技術）を確立した。

この新しい発電方式である「地下調整池による水路式発電所増強技術」について、効率的な水運用に関わる手法や低コストで地下調整池を設置する手法を示すことにより、本技術を広く一般に普及させ、水資源の有効活用を促進することを目的とする。

１．２ 地下調整池システムの基本概念

本マニュアルで記述する地下調整池システムとは、従来の水路式水力発電所の基本的な施設に地下調整池を付加するだけの単純な構造である。具体的には導水路の途中もしくは水槽部分に地下調整池を付加し、夜間のオフピーク時の水をこの地下調整池に貯留するとともに、昼間のピーク時間帯にこの水を利用して発電を行い、ピーク時の有効出力の増加と効率向上に伴う発電電力量の増加を目的とした技術である。

【解説】

地下調整池の基本概念図（一例）を図１－１に示すが、地下調整池は導水路の途中もしくは水槽部分に設置する。

図１－２に 24 時間の水運用概念図を示すが、夜間のオフピーク時の水を昼間のピーク時間帯に利用することにより、有効出力の増加を図ることができる。

また、図１－３に示すとおり、効率向上による発電電力量の増加も期待できる。

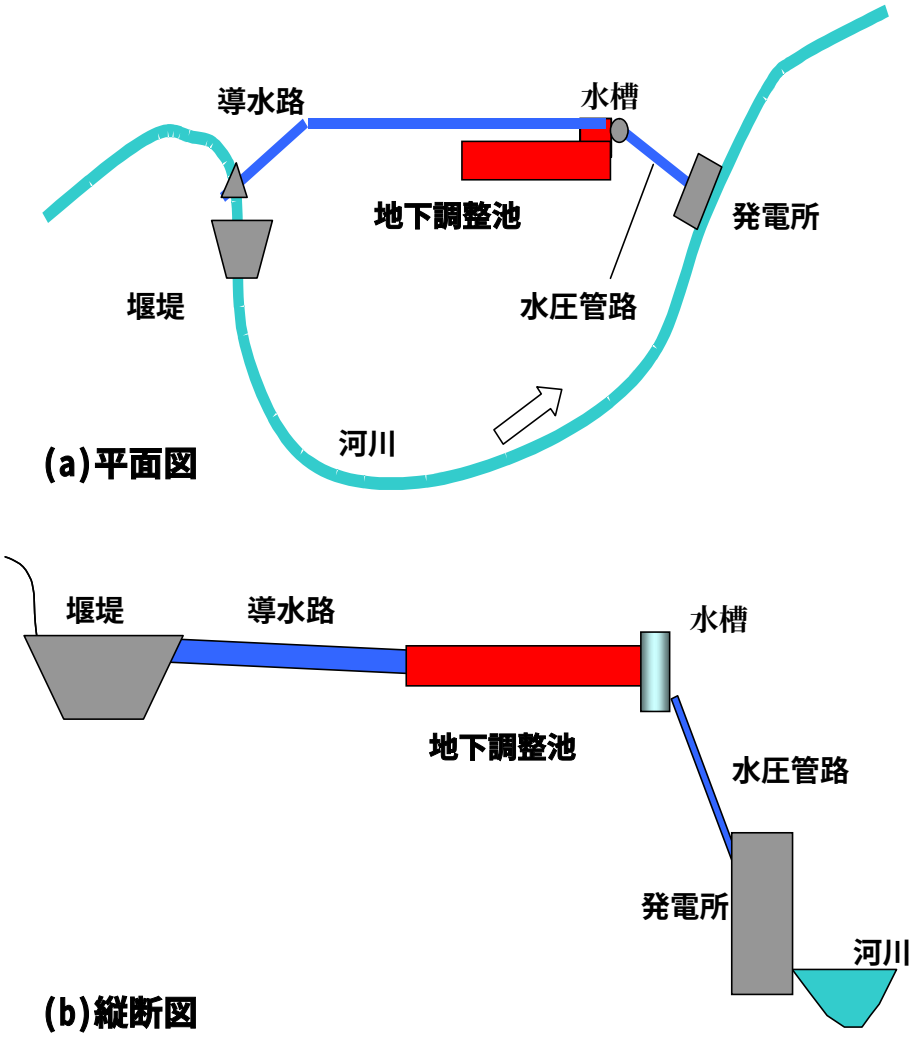


図１－１　基本概念図（一例）

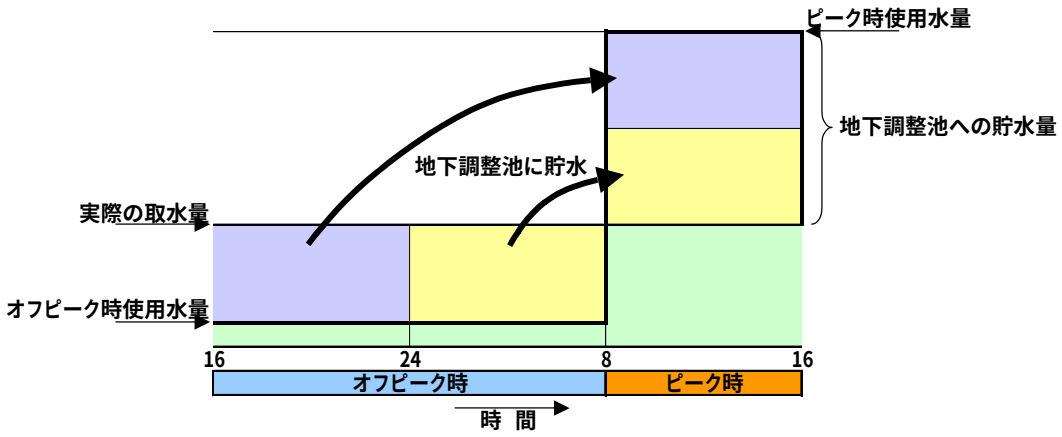


図１－２　24 時間の水運用概念図

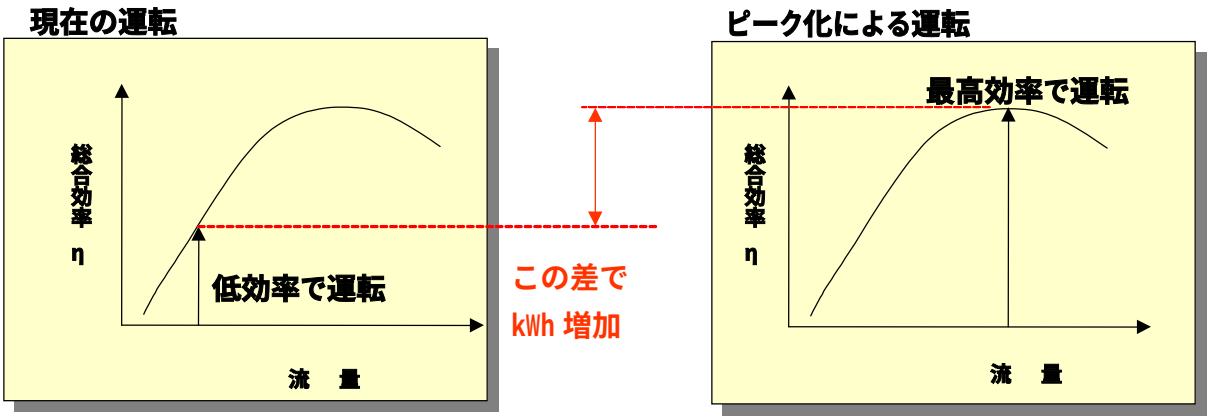


図１－３　効率向上による発電電力量の増加

次に本構想に基づく水運用による流況の変化の概念は、図１－４に示すとおりである。前述のように、夜間オフピーク時のある一定量を地下調整池に貯留し、昼間のピーク時に発電使用すれば、流量が少ない時期であっても、最大出力あるいはその近傍での運転が可能となる。図１－４に示すように、本技術を適用することによって、ピーク時において流況曲線が見掛け上増加したような状況を作り出すことができる。すなわち、地下調整池設置前においては、実際の流況曲線に対して、A－B－Eで示される取水曲線に対して発電が行われることになるが、地下調整池を設置することにより、ピーク時においては、図１－４に示すピーク時の見掛けの流況曲線に従い、A－B－C－Dといった取水曲線での発電が行われることになる。

一方、夜間のオフピーク時においては、見掛け上図中のB点（t1 日流量が最大使用水量に一致する日流量）より左側の最大使用水量より大きな流量においては、最大使用流量で、B点より右側の最大使用水量以下の流況においてはB－Eで示される実際の流況曲線に対して、B－Fといったオフピーク時の見掛けの流況曲線で発電が行われることになる。

したがって、図中に示す t1 日流量から t2 日流量の間では、実際の流況曲線において最大使用水量以下の流量であるにもかかわらず、電力価値の高いピーク時において最大出力近傍での発電が可能となる。

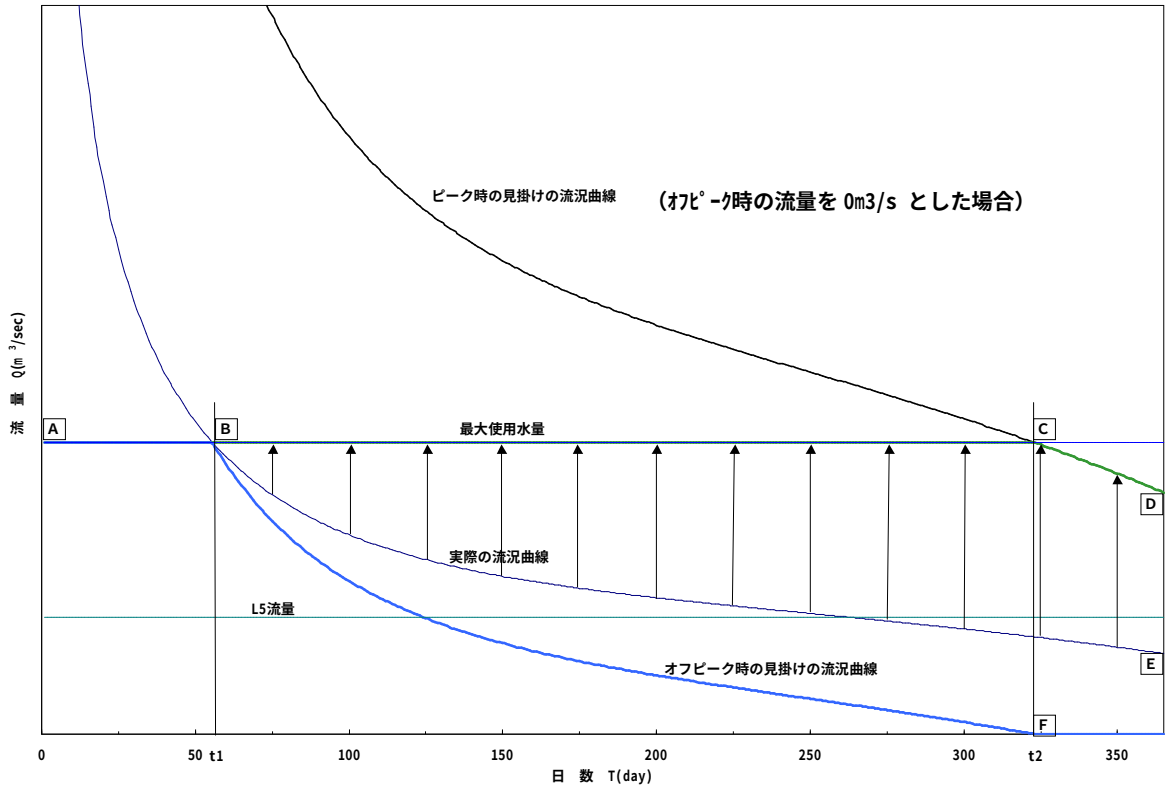


図１－４　地下調整池設置に伴う見掛け上の流況の変化

１．３ 本技術により期待される効果

本マニュアルで記述する地下調整池設計・施工技術により期待される効果は以下の３つである。

(1) 有効出力（kW）と発電電力量（kWh）の増加
(2) 効率的な地下調整池の構築
(3) 環境保全

【解説】

(1) 有効出力(kW)と発電電力量(kWh)の増加

ピーク発電時には常に最大使用水量付近での運転が可能となるため、有効出力（kW）の増加を図るだけではなく、水車・発電機の総合効率が向上し、発電電力量（kWh）の増加も期待できる。すなわち、ピーク発電時には最大出力にほぼ等しい出力で発電可能となり、この意味では潜在化している発電所規模を顕在化させることが可能となる。

また、シリーズ発電所では、最上流発電所に本技術を採用するだけで、シリーズ全体としてのピーク化が期待でき、有効出力（kW）と発電電力量（kWh）の増加が期待できる。

a 新設発電所の計画

新規の水力発電所計画では、河川維持流量放流義務量の増加から、水車の運転下限使用水量を下回る日数が増加している傾向にある。そこで、本システムを採用し、渇水期の無効放流を無くし、全水有効に利用することができる。

b 既設発電所

運転を行っている調整池式発電所において、効率的な運用パターンの設定が可能となる。また、既設流れ込み式発電所の潜在化している能力を有効に利用することができる。

(2) 効率的な地下調整池の構築

発破工法やＴＢＭ工法において、トンネル掘削の新技術を採用することにより、効率的な地下調整池を構築できる。

(3) 環境保全

a 地球温暖化対策

ピーク電力需要に対応した発電が可能となり、火力発電所等の負荷調整運転の軽減に貢献できる。

b 河川環境

地下調整池はダムにより地上に調整池を構築する場合と比較して、調整池を地下に設置するため、地上景観に与える影響や河川環境に与える負荷が小さい。

１．４ 適用範囲

本マニュアルは、地下調整池構築に係わる調査、設計、施工、工程計画及び積算に適用する開発計画段階のマニュアルである。新設発電所の計画及び既設発電所に新たに地下調整池を構築する際に、「河川環境」「発電所立地条件」「法規制関係」について配慮する。

【解説】

地下調整池の計画を検討するに当たり、以下に示す項目に留意して地点選定を行う必要がある。

(1) 河川環境

流れ込み式の発電に対して、調整池式の発電を行うことから、下流河川の状況（危害防止、下流利水、魚族の保護、景観等）を考慮する必要がある。

特に、調整運転することより発電使用水量が増減するため、下流に貯水池を有するダムが存在する地点、大きな河川との合流部付近に放水口が存在する地点、川幅が広い河川に放水口が存在する地点等、下流河川の水位変動が小さい地点が適している。水位変動の影響が懸念される地点においては、別途詳細な検討（調整運転立ち上げ時に伴う放流量限度曲線の検討等）が必要となる。

また、地下調整池への貯留時は、放水口下流の河川水量が減少するため、河川の正常な機能を保持する観点から、発電の最小使用水量を設定することも考える必要がある。

(2) 発電所立地条件

a 導水路延長

地下調整池に貯留する水は、基本的に取水位と水槽水位の高低差の間に貯留する。導水路延長が短い地点では、この高低差が取れないため、最低でも導水路延長が$L=2{,}000$m程度以上無い地点では、地下調整池によるピーク立必要量の確保は困難となる。

b 落差

地下調整池構築により得られる効果として、有効出力の増加が主である。したがって、発電所規模がある一定以上大きくないとメリットは得難く、単独発電所では有効落差 300m以上、シリーズ発電所では合計の有効落差が 350m以上の地点が有効と想定される。

c 河川流況

河川流量が最大使用水量以上ある時期は、流れ込みの運転でも最大出力の確保が可能であり、地下調整池を利用する時期は、河川流量が最大使用水量に満たない時期に限定される。すなわち、河川流量が少ない状況下で、ピーク化することによる有効出力の増加、発電効率向上による電力量の増加が期待できる。したがって、流況が悪く、流量設備利用率の低い地点を対象地点として選定した方が、地下調整池構築により大きなメリットが得られることとなる。

(3) 法規制関係

地下調整池の構築は、地上にダムを構築して調整池を設置するのに対して、環境に与える影響は小さいものの、自然環境保全法、自然公園法等を考慮する必要がある。

１．５ 検討の進め方

地下調整池の開発計画検討を効率的に行う目的で、「地下調整池　開発計画支援システム」を利用することが可能である。

「地下調整池　開発計画支援システム」は、「地下調整池容量の設定」、「地下調整池構造の設定」、「工事費の算定」、「運転パターン選定」、「経済性評価」と一連の検討を行うことが可能である。

【解説】

地下調整池の開発計画検討を効率的に行う目的で、「地下調整池　開発計画支援システム」を構築した。「地下調整池　開発計画支援システム」は、既設発電所に新たに地下調整池を構築する場合と新規の流れ込み式発電所計画地点に地下調整池を付加する場合を対象として、「地下調整池容量の設定」、「地下調整池構造の設定」、「工事費の算定」、「運転パターン選定」、「経済性評価」と一連の検討を実施し、評価を行うことが可能である。

なお、本マニュアル記載の調整池運転パターンの検討方法（開発計画支援システム：運転パターン選定システム）は、主に地下調整池の開発計画を前提とした技術であるが、既設設備（中間調整池、調整利用可能な遊休水路、導水路内貯留等）を利用した、最適運転パターンの検討においても利用可能である。

第２章 調査・計画

２．１ 調査

２．１．１ 調査目的

調査の目的は、地下調整池の開発に対して、経済性を確保した上で、計画、設計、施工、運用するために必要となる開発計画支援システムの資料を得るものとする。

【解説】

本調査は、地下調整池の開発地点の設計および施工計画を行うための資料を得ることを目的とする。調査は、地下調整池の可能性評価、工事規模の決定、設計、施工、運用の各段階において必要となるものであり、これらを考慮して調査を行う。

２．１．２ 調査項目

調査は、下記項目を行うことを原則とする。

(1) 流量調査
(2) 地形調査
(3) 地質調査
(4) 立地条件調査
(5) 既設発電所現況調査
(6) その他

【解説】

(1) 流量調査

流量調査は、地下調整池の計画を策定する上で最も重要なデータとなる。通常の発電計画策定時と同様に、新規の場合には「最近の連続 10 年間以上の開発地点直近の測水所における測水結果」、または既設発電所においては、「最近の連続 10 年間以上の取水口地点流量データ」を収集・整理する必要がある。

(2) 地形調査

調査の初期段階では公刊されている 1/25,000 地形図を用い、計画の実行度（確実度）に応じて、航測図化平面図の作成や実測平面図の作成といった手順を踏む。

また、地下調整池は山岳地域に構築されるので工事用進入路の確保や掘削残土の処分地等について考慮する。

(3) 地質調査

地形および地質は、施工方法、施工設備、施工機械等の施工計画を決定する重要な要素であり、特に地質調査については、調査方法、調査箇所、調査資料等を十分検討し、調査結果について判断を誤ることのないように実施する必要がある。

地下調整池構築に際しては、延長の長い調整池トンネルの全長に亘ってボーリング調査を行うことは困難であるので、地表踏査や弾性波探査によって地質構造を把握した上で、坑口部や地質弱部、トンネル接続箇所などの重要構造物箇所を重点的にボーリング調査するなど、効率的な調査計画を立案し、段階的な調査を行うことが望ましい。

調査に当たっては、地盤の構成状態、岩盤等級、工学的性質、地下水状況およびその他特殊状況について整理する必要がある。

主要調査項目を以下に示す。調査の詳細については、『中小水力発電ガイドブック』や『中小水力発電の新技術の手引き』等を参考にすること。

① 地表踏査
② 空中写真判読
③ 物理探査
④ ボーリング調査

(4) 立地条件調査

a 下流河川の状況

下流河川の状況は、調整池の運用を大きく左右する要因であることから、特に、下流河川の危害防止（水位変動）、下流利水、魚族の保護、景観等の観点から、地点毎の河川特性を十分把握しておく必要がある。

b 法規制関係

地下調整池を有する発電所構築に伴う関係法令として、次のようなものがあり当該計画地点において、関連する法令について調査を行う必要がある。なお、詳細については、『中小水力発電ガイドブック』等を参考にすること。

(a) 河川法

第 26 条（工作物の新築等）の許可が必要である。ただし、施工計画や設置の位置によっては更に第 25 条（土石等の採取）、第 27 条第 1 項（土地の掘削等）、第 55 条第 1 項（河川保全区域内における土地の形状変更又は工作物の新築等）及び第 57 条第 1 項（河川予定地内における土地の形状変更又は工作物の新築等）の申請が加わる。

※1 地下調整池設置に関して、河川管理者にヒアリングした結果から想定される指導事項は次のとおりである。

・水の使用方法（運用方法）に関する説明書（下流河川の危害防止）
・放水口下流の正常流量に関する検討書等

※2 河川管理者は、河道外貯留（河川区域外に水を貯留すること）を「必要のない時期

に必要以上の取水を行い、貯留することを原則として許容しない」という観点から、極力回避する方向で指導しているようであるが、水力発電所の場合は、取水した水量を全て発電利用することから、この限りではないと考えられる。

(b) 電気事業法

水力発電所新設に関する関連条項は、原則として、第 9 条（電気工作物等の変更）、第 48 条（工事計画の事前届出）が主な関連条項となる。

(c) その他の関係法令

その他の関係法令としては、自然環境保全法、自然公園法、森林法、絶滅のおそれのある野生動物の種の保存に関する法律、文化財保護法等を考慮する。

また、トンネル掘削ズリの処理については、土壌汚染対策法に準拠して重金属等による汚染防止を図る。

(5) 既設発電所現況調査

a 発電所諸元

地下調整池を計画する当該発電所についての諸元関係を把握しておく必要がある。基本的には、以下のデータが必要となる。

・発電所の最大出力Pmax(kW)、最大使用水量Qmax(m³/s)、有効落差He(m)

b 設備の諸元

地下調整池を計画する当該発電所について、調整池の接続パターン、接続位置または制約条件を把握する上で、設備の諸元関係を把握しておく。基本的には、以下のデータが必要となる。

・取水口：取水位(WL.m)
・沈砂池：沈砂池水位(WL.m)
・導水路：断面形状（幅・高さ・径：m)、始点・終点・任意点（調整池始点・終点等）の敷高(EL.m)、勾配、延長(m)、最大使用水量流下時の等流水深(m)
・水槽：断面形状（幅・高さ・長さ：m)、始点・終点の敷高(EL.m)、運用水位(HWL・NWL・LWL：WL.m)

c 運用実態調査

地下調整池を計画する当該発電所並びに運用が影響する発電所についての運用状況を把握しておく必要がある。基本的には、以下のデータが必要となる。

- 発電所毎の最大出力Pmax(kW)、最大使用水量Qmax(m^3/s)、有効落差He(m)
- 取水堰堤毎の流域面積(km^2)、維持流量(m^3/s)、最大取水量(m^3/s)
- 取水位(WL.m)、水槽水位(WL.m)、放水位(WL.m)、水車中心標高(EL.m)、常時使用水量(m^3/s)、損失落差(m)（最大時及び常時）
- 総合効率η(%)、発電可能最小流量(m^3/s)
- 下流発電所遅れ時間(h)
- 現在の運用状況
- 調整運転する際の制約条件等

(6) その他

計画、設計、工事実施、運用時においてその他、必要となる項目。

２．１．３ 調査の区分

地形および地質調査に関しては、①計画段階（可能性評価段階)、②設計段階、③施工段階の各段階に合わせて、その精度を上げていく必要がある。

【解説】

(1) 計画段階調査（可能性評価段階調査）

計画段階調査では、地下調整池の可能性評価を行うための調査を実施する。可能性評価を行う際には、水運用による効果と建設に伴うコストとを相対的に比較する必要があるため、発電効率に影響を与えるような立地条件調査（水文調査、地形調査）の他に、施工法を設定するための地質調査（地盤の構成状態、岩盤等級が類推可能なレベル）を行う必要がある。

(2) 設計段階調査

設計段階調査は、地下調整池位置を決定し、設計を行うために必要な資料を得ることを目的とし、地表踏査（精査）およびボーリング調査（室内岩石試験を含む）が主体となる。

(3) 施工段階調査

施工段階調査は、施工時の状況に応じて実施するもので、設計段階で把握した地質状況を検証し、設計変更、施工管理の資料を得ることが目的となる。地下調整池トンネルの構築に際しては、事前に十分なボーリング調査を行うことが困難な場合があるため、地質状況が設計段階での調査結果と異なる場合には坑内水平ボーリングを実施するなど現場状況に合わせて適宜行っていく必要がある。

２．２ 計画

２．２．１ ピーク継続時間

地下調整池によるピーク化は、基本的に夜間のオフピーク時の水を地下調整池に貯留し、昼間の電力ピーク時にこの水を利用して発電を行い、ピーク時の有効出力の増加を図るものである。ピーク時間として捉えられる付加価値は、事業者毎に異なると判断されることから、任意に設定を行う。

【解説】

ピーク継続時間とは、ピーク発電を継続する時間を示す。水力発電所の kW 価値は、何時間の出力継続で価値として評価されるかを一義的に規定することは困難であり、各事業者が任意に設定を行うものとする。

また、ピーク継続時間の設定如何により、調整池の規模、地下調整池の建設工事費、有効出力増分、発電電力量増分等が大きく変化し、計画の経済性が大きく異なることとなる。

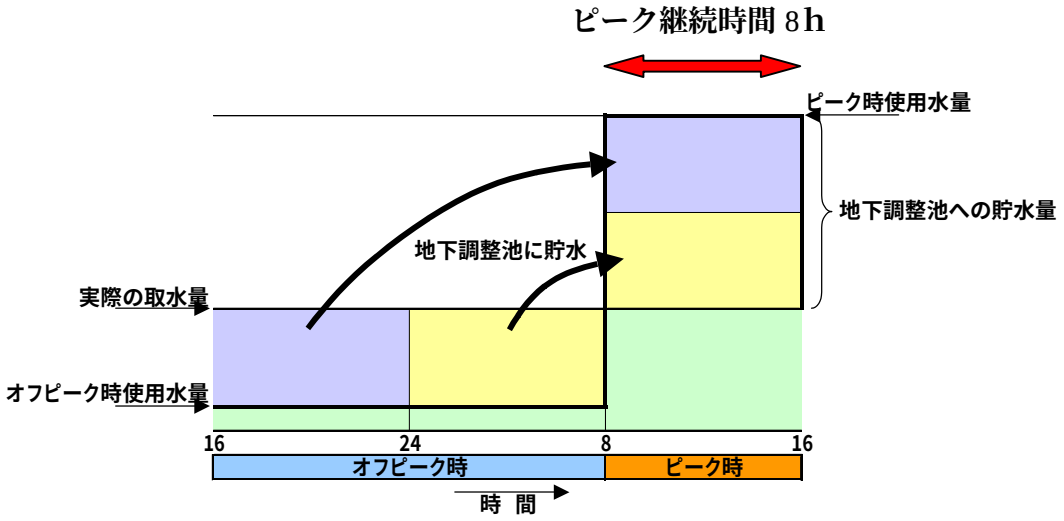


図２－１　ピーク継続時間（８時間の例）

２．２．２ 地下調整池容量

地下調整池の容量は、基本的にはｋW価値として期待できる８月Ｌ５流量※時に、所定のピーク継続時間を最大出力で運転できる容量とする。

【解説】

調整池容量は、基本的には８月Ｌ５流量時に所定のピーク継続時間を最大出力で運転できる容量とする。但し、流況の悪い地点においては、８月Ｌ５流量時のオフピーク時間帯に全量貯留しても、ピーク時間帯に最大出力での運転ができない場合が生じることから、その場合は最大限貯留できる容量とする。

※）８月Ｌ５流量とは、８月の最低５日平均日流量（維持流量等控除後）の対象年間における平均値であり、これを調整池容量を設定する際の基準とした。なお、北日本側で８月以外に最大電力が発生する場合は、当該月のＬ５流量を用いることができる。

①ピーク時間帯において最大出力運転が可能な場合

$$V_1\ (m^3) = (Q_{max} - Q_{8月L5}) \times T_{PEAK} \times 3{,}600$$

②ピーク時間帯に最大出力での運転ができない場合

$$V_2\ (m^3) = (Q_{8月L5} - Q_{min}) \times (24 - T_{PEAK}) \times 3{,}600$$

Q_{max} ：最大使用水量(m^3/s)

Q_{min} ：最小使用水量（発電最低流量）(m^3/s)
（オフピーク時に発電停止できない場合）

$Q_{8月L5}$：８月Ｌ５流量(m^3/s)

T_{PEAK} ：ピーク継続時間(h)

地下調整池容量は、上記のV_1あるいはV_2のいずれか小さい方の容量で決定される。

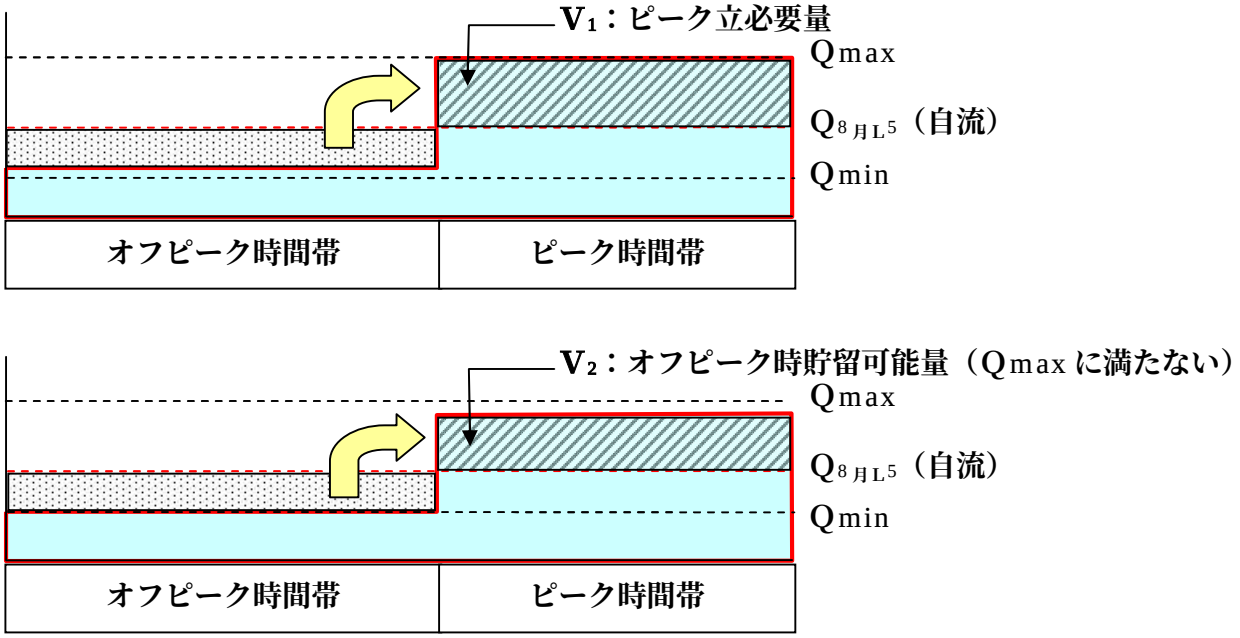


図２－２　調整池容量

２．２．３ 接続パターンと流量制御方法

地下調整池の接続パターンは、以下の３パターンとする。
(1)導水路途中接続案（既設発電所対象）
(2)水槽接続案（既設発電所対象）
(3)導水路調整能力付加案（新規計画地点対象）
また、調整池からの流量制御方法は各接続パターン毎に異なる。

【解説】

既設発電所に地下調整池を構築する場合には、導水路途中接続案を標準とし、どうしても工事のアクセスの都合上、水槽側にしか取り付けられない場合、水槽の運用水位の変更が可能で、かつ運用幅が大きくとれる場合に水槽接続案を選定する。

また、新規計画地点においては、流れ込み式で計画されている導水路に調整機能を付加させた導水路調整能力付加案を選定する。

(1) 導水路途中接続案

接続パターンは、図２－３、図２－４に示すとおりである。流量調整は、調整池末端に設けるゲートＢを用いて制御を行う。

貯留時：ゲートＢ→全閉（または、上流側水位を見ながらＱmin 一定放流）
ピーク時：ゲートＢ→上流側水位を見ながらＱmax 一定放流
なお、点検用ゲートＡは常時閉となる

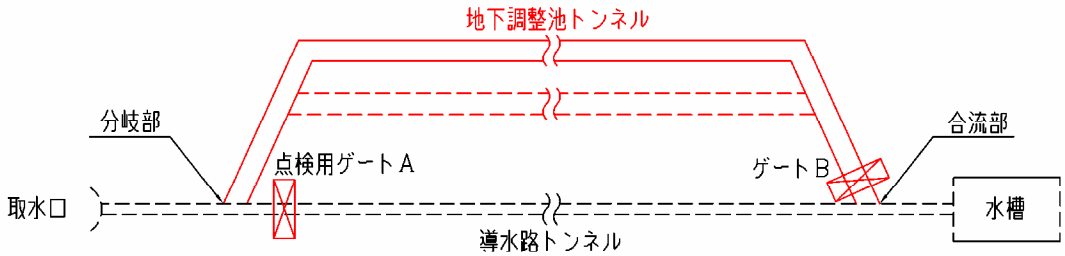


図２－３　導水路途中接続案（平面概要図）

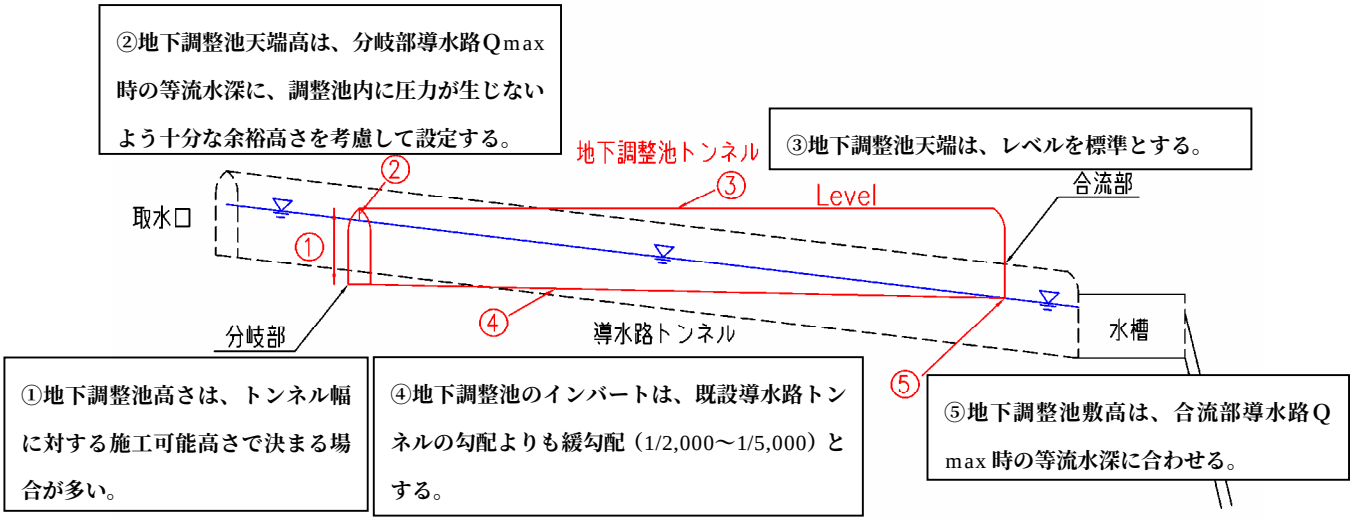


図２－４　導水路途中接続案（縦断概要図）

(2) 水槽接続案

接続パターンは、図２－５、図２－６に示すとおりである。流量調整は、水車ガイドベーンに水槽水位に応じた水位垂下率（水位の変化幅に対して、ガイドベーンの開度を決める傾き）を設定し制御を行う（水槽の運用水位を利用）。

なお、地下調整池トンネルの点検時等のために、調整池末端に点検用ゲートＣを計画する。

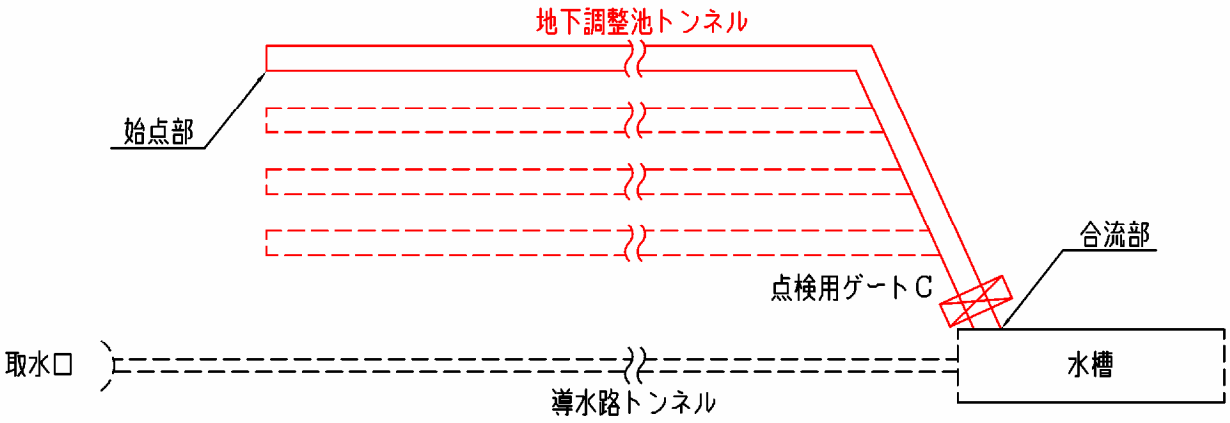


図２－５　水槽接続案（平面概要図）

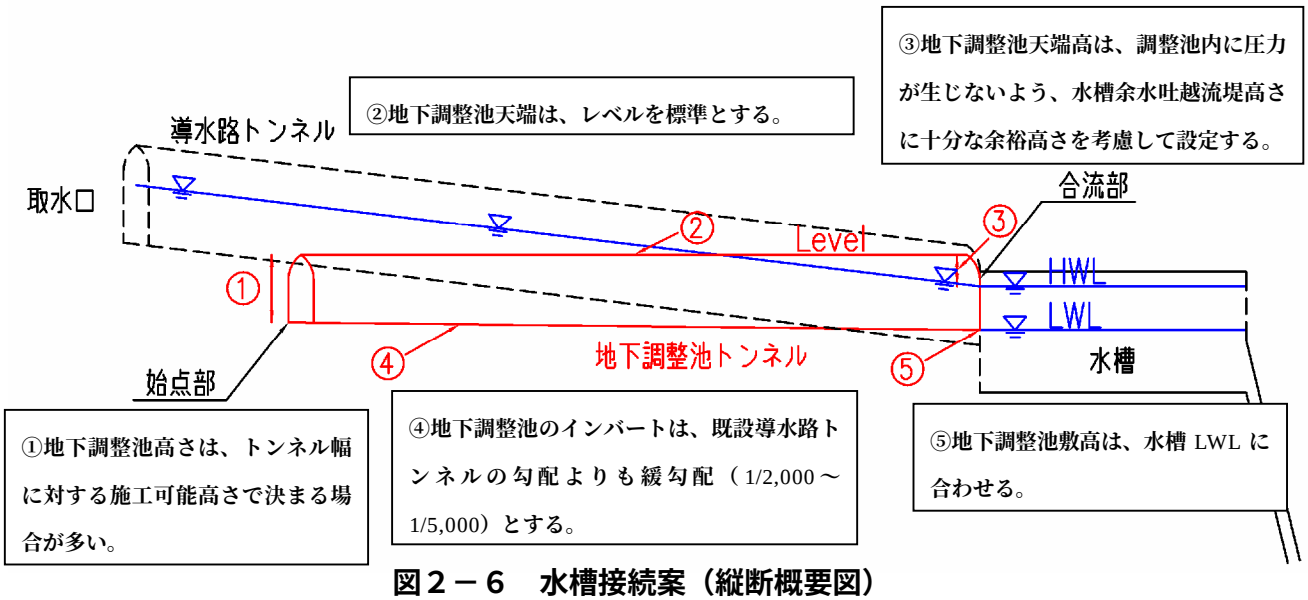


図２－６　水槽接続案（縦断概要図）

(3) 導水路調整能力付加案

接続パターンは、図２－７、図２－８に示すとおりであり、基本的には計画されている水槽高さは変更せずに、導水路断面を縦横に広げて調整池容量を持たせることを前提とする。流量調整は、調整池末端に設けるゲート D により制御を行う。

貯留時：ゲート D→全閉（または、上流側水位を見ながらQmin 一定放流）

ピーク時：ゲート D→上流側水位を見ながらQmax 一定放流

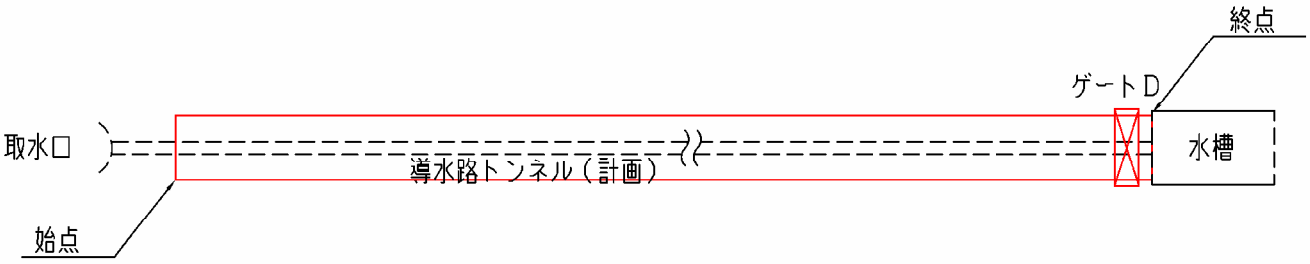


図２－７　導水路調整能力付加案（平面概要図）

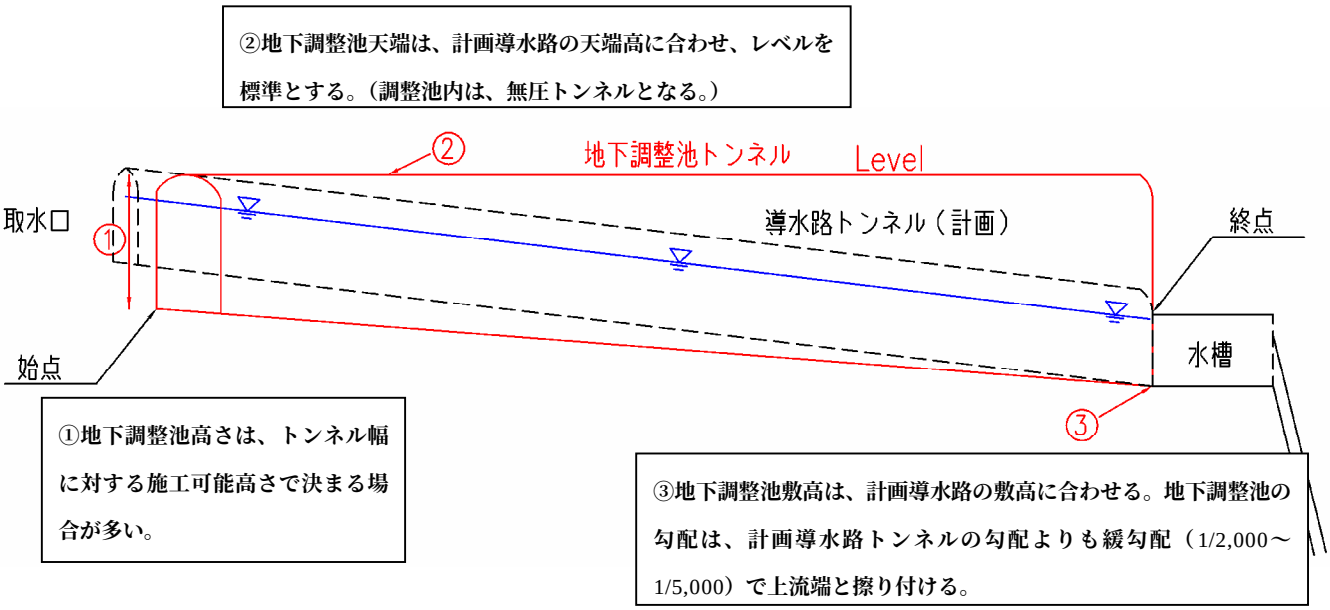


図２－８　導水路調整能力付加案（縦断概要図）

２．２．４ 地下調整池貯留可能高さの制約

地下調整池のレイアウトについては、各接続パターン毎に貯留できる高さ関係の制約があることから、各地点の特性を考慮し選択する。

【解説】

各接続パターン毎に、以下のとおり設定する。

(1) 導水路途中接続案

導水路途中接続案では、貯留可能高さは分岐部導水路の最大使用水量流下時の等流水深から合流部導水路の最大使用水量流下時の等流水深の間に限定される。分岐位置、合流位置は、坑外施工条件等から決定される要因が大きいが、極力地下調整池の延長を長くした方が貯留能力を大きく取れる。

調整池の縦断線形は、下流側の合流位置での敷高を固定して、上流側に既設導水路よりも緩勾配（1/2,000～1/5,000）で上流側の分岐部の敷高を設定する。また、調整池の天端高さは分岐部の最大使用水量流下時の等流水深に調整池内に圧力が生じることのないよう十分な余裕高さを考慮して設定し、下流側まで水平とする。

地下調整池の平面線形については、地形条件を考慮することはいうまでもないが、所定の調整池容量を確保できない場合は、トンネル本数を増やして容量を確保する。

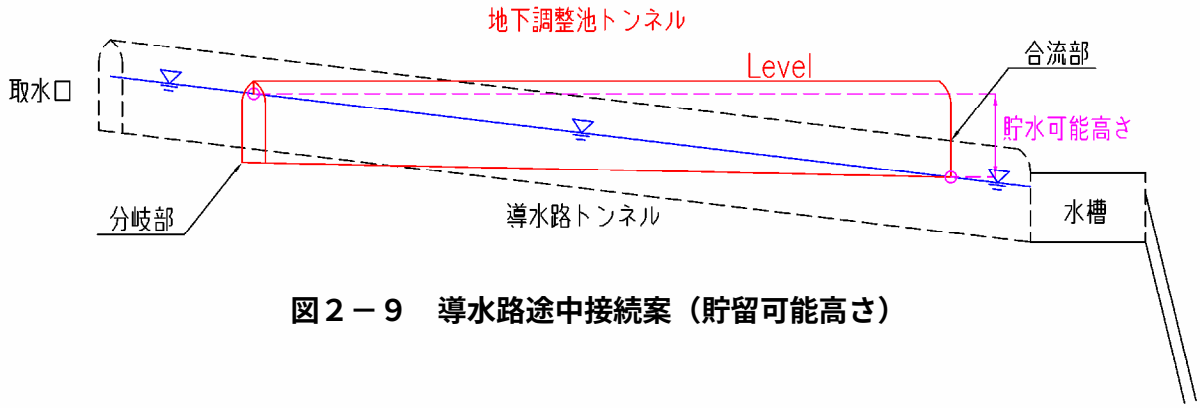


図２－９　導水路途中接続案（貯留可能高さ）

(2) 水槽接続案

水槽接続案では、水槽の利用水深を利用して貯留を行うため、貯留可能高さは水槽のL.W.L.～H.W.L.の間に限定される。

調整池の縦断線形は、下流側の合流位置での敷高を固定して、上流側に既設導水路よりも緩勾配（1/2,000～1/5,000）で上流側の敷高を設定する。また、調整池の天端高さは水槽余水吐越流堤高さに十分な余裕高さを考慮して設定し、水平とする。

地下調整池の平面線形については、地形条件を考慮することはいうまでもないが、所定の調整池容量を確保できない場合は、トンネル本数を増やして容量を確保する。貯留可能高さが、L.W.L.～H.W.L.の範囲の制約で低く抑えられることから、平面積を大きくとる必要がある。

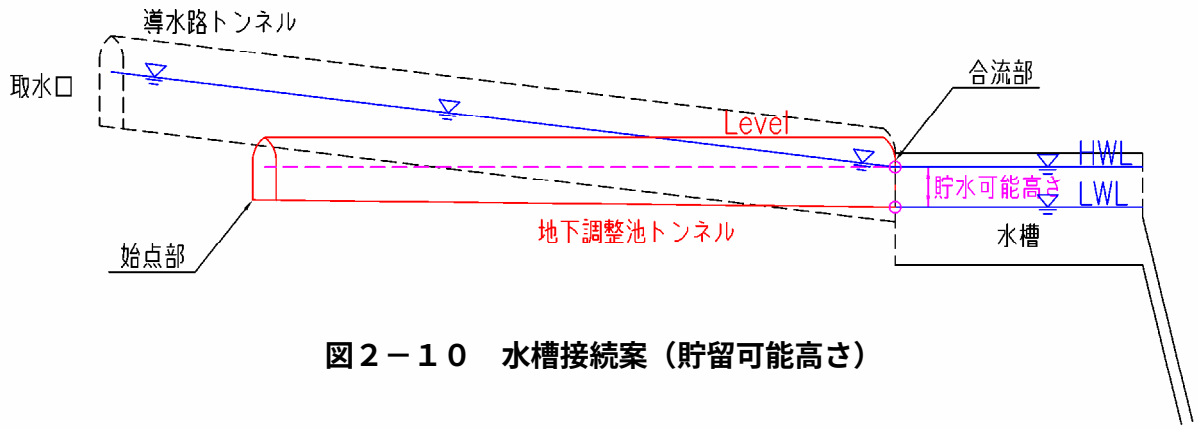


図２－１０　水槽接続案（貯留可能高さ）

(3) 導水路調整能力付加案

導水路調整能力付加案は、流れ込み式で計画されている導水路に調整機能を持たせるものである。地下調整池の最大延長は、計画導水路延長となり、この範囲内で必要調整池容量が確保できる延長を設定する。貯留可能高さは始点部導水路の最大使用水量流下時の等流水深から水槽 N.W.L.の間に限定される。

調整池の縦断線形は、下流側の敷高を固定して、上流側に計画導水路よりも緩勾配（1/2,000～1/5,000）で上流側の敷高を設定する。また、調整池の天端高さは上流側の水深に十分な余裕高さを考慮して設定し、調整池内に圧力が生じることのない高さとし、下流側まで水平とする。

地下調整池の平面線形については、基本的には流れ込み式計画時の平面線形と同一とする。

なお、所定の調整池容量を確保できない場合は、水槽水位を低下させて所定の調整池容量を確保する。

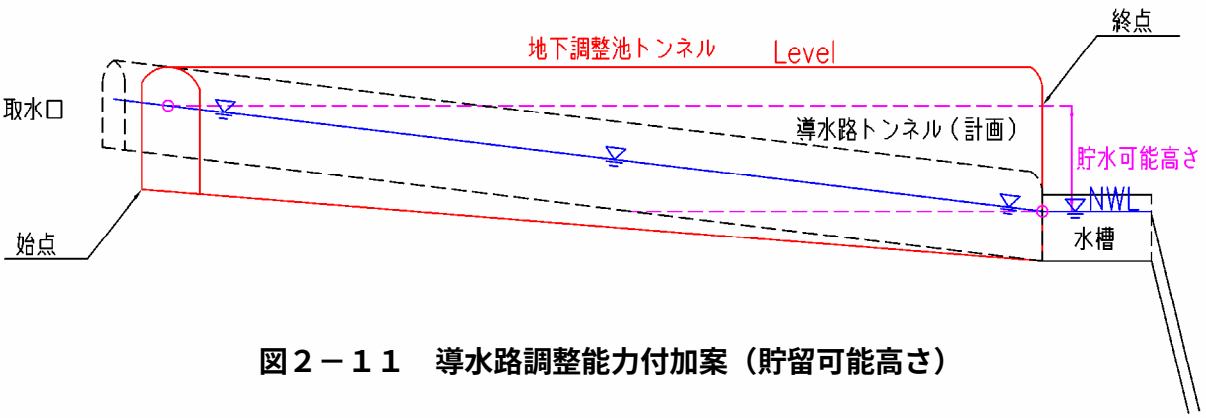


図２－１１　導水路調整能力付加案（貯留可能高さ）

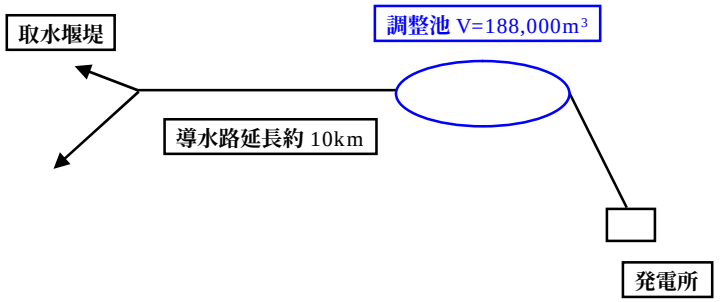
２．２．５ その他

本マニュアル記載の調整池運転パターンの検討方法（開発計画支援システム：運転パターン選定システム）は、既設設備（既設調整池、調整利用可能な遊休水路、導水路内貯留等）にも利用可能である。

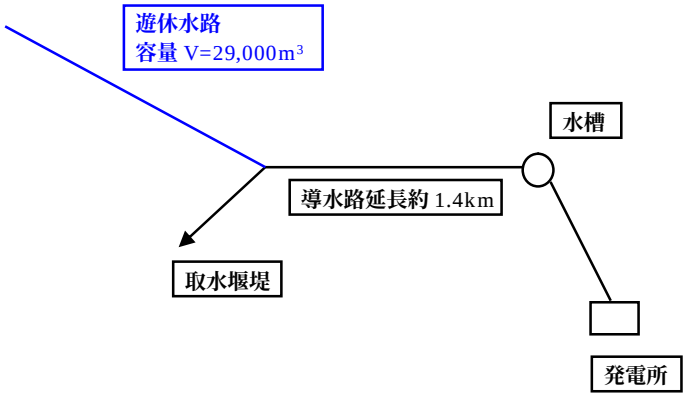
【解説】

本マニュアル記載の調整池運転パターンの検討方法（開発計画支援システム：運転パターン選定システム）は、主に地下調整池の開発計画を前提とした技術であるが、既設設備（既設調整池、調整利用可能な遊休水路、導水路内貯留等）を利用した、最適運転パターンの検討においても利用可能である。

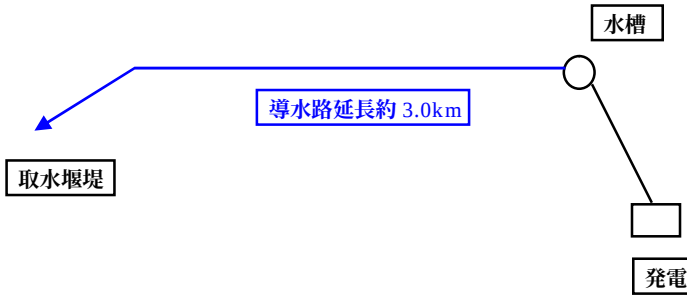
「開発計画支援システム：運転パターン選定システム」を既設設備に適用することで、簡易に効率的な運転パターンの検討を行うことが可能である。(運転パターン選定システムの詳細については、巻末資料１『地下調整池　開発計画支援システム　説明書』を参照)



（中間調整池の利用の例）



（遊休水路の利用の例）



（導水路内貯留の例）

図２－１２　既設設備適用時の発電設備模式図（一例）

第３章 設計

３．１ 地下調整池容量

地下調整池の容量は、２．２．２で算出した８月Ｌ５流量時に所定のピーク継続時間を最大出力で運転できる容量の他に、構造上負圧としないための空き容量、施工上必要となる空き容量、ピーク補給時に水理特性上供給できない容量（デッド容量）を考慮して断面設計を行い決定する。

設定したピーク継続時間を満足するかについては、ピーク継続時間の簡易算定方法により確認し、実際の地下調整池構造の設定は３．２に記した地下調整池構造の検討手順に基づき、最も経済的な断面を選定する。

【解説】

地下調整池に貯留した水量をピーク補給する際の地下調整池内の流れは、Qin（自流）が常に流入している状態に、これに前述の流量を上乗せしたQmax の流れとなる。その際の流量制御は、調整池内の水位に応じてゲート開度を調節して行う。

また、ピーク補給量は、調整池下流端での水位がQmax 流下時の限界水深より低下した場合に、ゲート制御不能（フリーフロー）となり、補給量が漸減する。

地下調整池内の流れは、時間的にも場所的にも変化する流れであり、非定常不等流（不定流）と呼ばれる。不定流の流れは、摩擦損失係数にマニングの法則を利用すると、下記に示すエネルギー方程式と連続方程式で表すことができる。

エネルギー方程式

$$-i+\frac{\partial h}{\partial x}+\frac{\alpha}{2g}\cdot\frac{\partial v^2}{\partial x}+\frac{n^2}{R^{\frac{4}{3}}}\cdot|v|\cdot v+\frac{\eta}{g}\cdot\frac{\partial v}{\partial t}=0$$

連続方程式

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=0$$

ここに、ｉ：水路勾配、ｈ：水深(m)、ｘ：水平距離(m)、ｇ：重力加速度(m/s²)、ｖ：断面平均流速(m/s)、ｎ：マニングの粗度係数、Ｒ：径深(m)（＝Ａ／Ｓ、Ｓ：潤辺(m)）、α：エネルギー補正係数（=1.0）、η：運動量補正係数(=1.0)、ｔ：時間(s)、Ａ：通水断面積(m²)、Ｑ：流量(m³/s)（＝Ａｖ）

非定常流の計算（数値シミュレーション）は煩雑であり、調整池の基本形状の検討には不向きであることから、ピーク継続時間を以下に示す『ピーク継続時間の簡易算定方法』で計算することとした。

なお、非定常流の計算（数値シミュレーション）結果と『ピーク継続時間の簡易算定方法』による算出結果との差は、平均で 0.2%程度であった。（詳細は、巻末資料 4『地下調整池ピーク継続時間の簡易算定方法』を参照）

(1) ピーク継続時間の簡易算定方法

簡易算定方法は、ピーク運転開始時とピーク運転終了時の地下調整池の状態に着目して、簡便的にピーク運転終了時までに要する時間を算定するものである。

ピーク流量の供給が可能な調整池内の最終水面形は、上流側Qin の等流水深、下流側がQmax の限界水深となる。また、この最終状態の水面形は、Qmax の等流状態とQin の等流状態の間の水面形状となる。簡易算定方法は、初期状態からQmax の等流状態に達するまでの時間と初期状態からQin の等流状態に達するまでの時間の平均時間を算出する。

ピーク継続時間は、図３－１に示す状態のうち①～②の状態に移行するまでの時間となる。すなわち、調整池の容量がV～Ve に変化するまでの時間であり、この間調整池からは毎秒（Qmax－Qin）の容量が減少していくこととなる。

したがって、求めたいピーク継続時間To は、下式によって算定される。

To＝（V－Ve）／（Qmax－Qin）（s）

To：ピーク継続時間（s）

V：ピーク運転開始時の調整池容量（m^3）

Ve：ピーク運転終了時の調整池容量（m^3）

Qmax：発電所最大使用水量（ピーク補給量）（m^3/s）

Qin：自流量（調整池流入量）（m^3/s）

しかしながら、これらの諸数値のうちVe を簡単に求めることは困難である。ピーク運転終了時の水面形は、③の状態と④の状態の間に存在することから、簡便的にTo は①～③に移行するまでの時間と①～④に移行するまでの時間の平均値として算出することとした。

［①～③に移行するまでの時間］

T1＝（V－VQmax）／（Qmax－Qin）（s）

T1：①～③に移行するまでの時間（s）

VQmax：Qmax 流下時の調整池容量（m^3）

［①～④に移行するまでの時間］

T2＝（V－VQin）／（Qmax－Qin）（s）

T2：①～④に移行するまでの時間（s）

VQin：Qin 流下時の調整池容量（m^3）

［ピーク継続時間To の算出方法］

To＝（T1＋T2）／2（s）

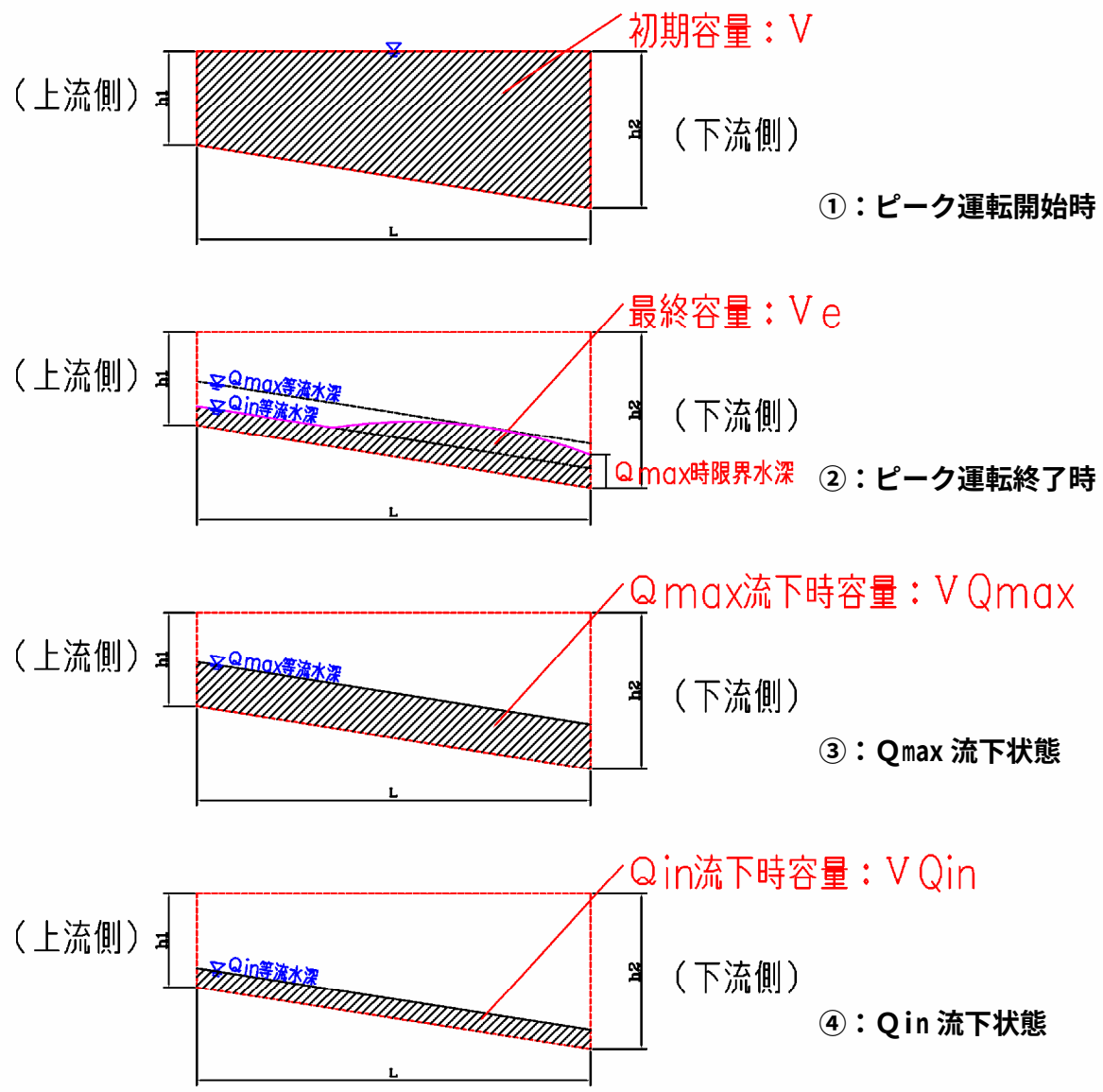


図３－１　各時間断面での地下調整池の状況

(2) 調整池内負圧対策

調整池内は、負圧としないために空き容量を考慮した構造とする。調整池において、ピーク運転を開始して最大使用水量を瞬時に導水すると、水の体積減少分相当の空気が吹き込むこととなり負圧となることが考えられる。そのため、これを考慮した空気の供給ルートを確保しておく必要がある。

詳細検討においては、容量や風速等を検討し、必要に応じてエアー管等の設置を考慮する必要がある。

３．２ 地下調整池構造

３．２．１ 施工断面の標準化

地下調整池の断面設定は、上流断面は施工可能な最小の扁平断面として、下流側に向かってインバートのみを掘り下げる形状（天端は同一レベル）が掘削容量を最も有効に活用できることから、この考えに基づいて設計を行う。

施工断面については、トンネル幅毎に機械編成を考慮して標準化を図った。

【解説】

断面規模と施工機械編成については、表３－１に示すとおり設定し、各機械編成において施工上必要となる最小断面寸法の設定を行った。地下調整池としての機能面を考慮した場合、掘削高さを抑えつつ掘削幅を広くした断面の方が、有効貯水断面の効率的な確保という点で有利となる。したがって、掘削高さについては、各断面規模で機械編成毎の最小断面を設定し、その高さを最小高さとする。それと同じ高さで掘削幅を広げた断面を各内空幅に対する最小断面として設定するものとした。

なお、各内空幅に対して調整池機能から求まる必要内空断面積を満足できない場合には、側壁高さを増加させることで対応するものとする。

表３－２に施工機械編成毎の最小断面と内空幅を変化させた場合の最小断面の設定例を示す。また、図３－２に地下調整池の内空幅に対応した標準内空断面を示す。掘削断面積当りのトンネル施工コストは、レール式（単線）＞レール式（複線）＞タイヤ式の順に低減されるため、標準内空断面は、内空幅を設定することで施工機械編成と最小内空断面が設定されることとなる。

表３－１　発破掘削工法における施工機械編成と断面規模の設定

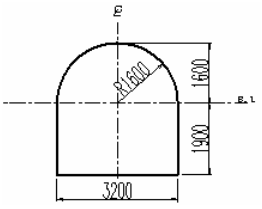
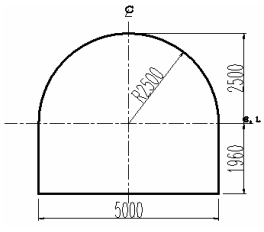
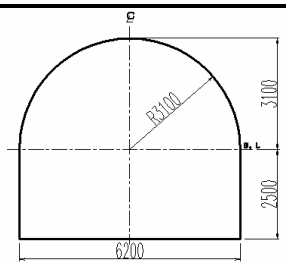
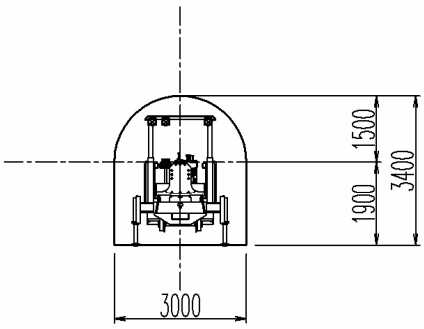
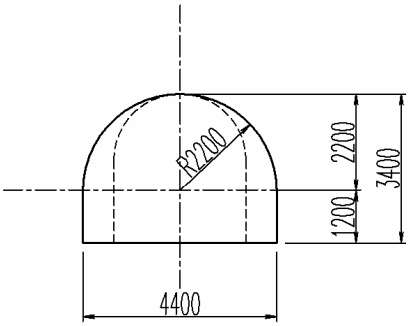
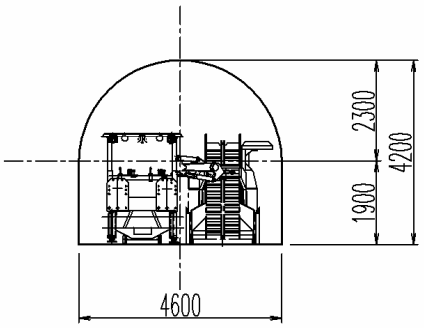
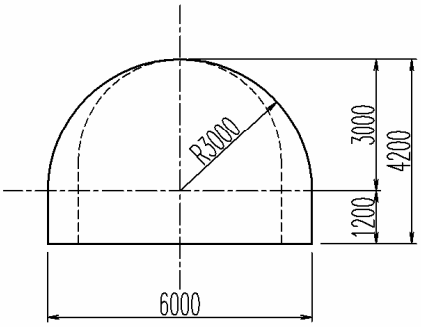
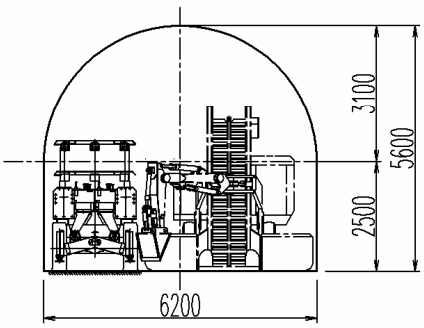
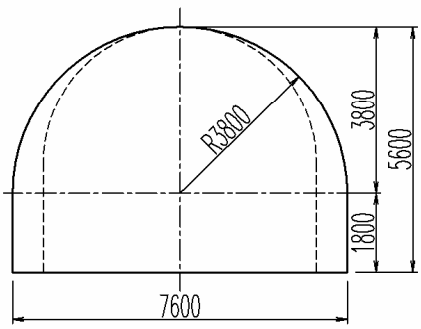
断面規模	内空断面積	10～16 ㎡	16～30 ㎡	30 ㎡～
	内空幅	3.0m以上 4.5m未満	4.5m以上 6.2m未満	6.2m以上
モデル断面		 （10 ㎡）	 （20 ㎡）	 （30 ㎡）
削孔		2 ブーム油圧ジャンボ		
ずり積込		クローラ式バックホウ型ずり積機		トラクターショベル
ずり搬出		シャトルカー		ダンプトラック（車両転回所拡幅が必要）
適用	レール式（単線）	←→		
	レール式（複線）		←→	
	タイヤ式			←→

表３－２　施工機械編成毎の最小断面と内空幅を変化させた場合の最小断面（例）

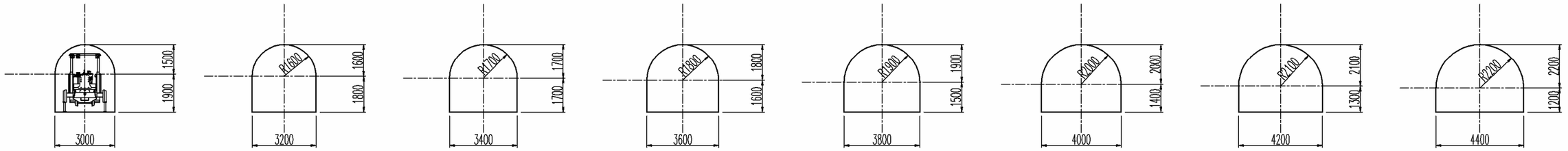
	施工機械から決まる最小断面	内空幅を広げた場合の最小断面（例）
レール式（単線）		
レール式（複線）		
タイヤ式		

注１）破線は機械編成における必要最小内空断面を示す。
注２）必要最小内空断面を満足させるように、内空幅毎の最小内空断面を設定する。
注３）同一機械施工機械編成では、最小内空高さが規定されることとなる。

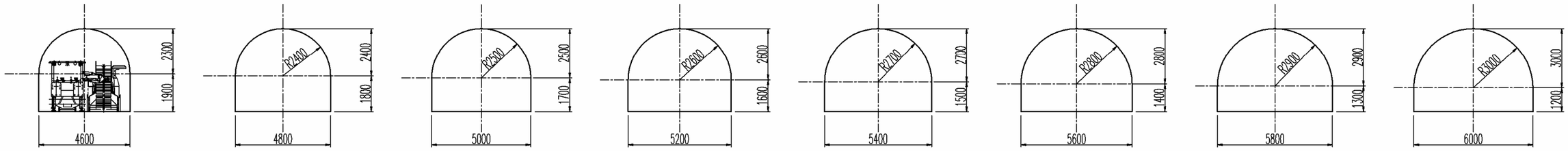
なお、上記のとおり地下調整池の施工断面は、断面変化させることを標準とすることから、掘削方式は発破掘削工法を採用することを前提とし、TBM 掘削工法を採用する場合には別途検討を必要とする。

内空幅に対応した標準最小内空断面の設定

レール式（単線）



レール式（複線）



タイヤ式

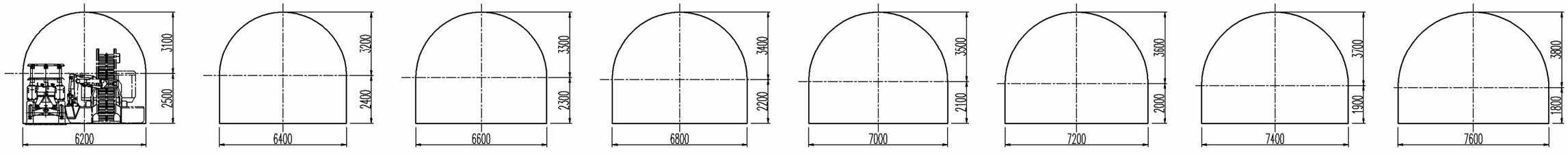


図３－２　地下調整池標準内空断面

３．２．２ 地下調整池構造の設定

地下調整池構造の設定は、坑外の施工条件や既設構造物との取り合い等を考慮して、接続パターン毎に、分岐・合流位置を設定する。

その後、地下調整池延長、貯留可能高さを基に、上・下流断面の設定（トンネル幅・高さ）、勾配、トンネル本数を設定し、最も経済的となる断面を選定する。

【解説】

地下調整池の構造を設定するために必要となる項目は以下のとおりであり、各々設定時の留意事項を記載する。

(1) 坑口位置

地下調整池トンネルを施工する際に、最も重要な項目は坑口位置の選定である。坑口の位置は、地形・地質、アクセス道路の有無、施工ヤードの確保、分岐・合流地点までの距離や勾配を考慮して、最適な位置を選定する。

(2) 接続パターンの選定

既設発電所に地下調整池を構築する場合には、導水路途中接続案を標準とし、工事のアクセスの都合上、水槽側にしか取り付けない場合や水槽の運用水位の変更が可能で、かつ運用幅が大きくとれる場合には水槽接続案を選定する。

また、新規計画地点においては、流れ込み式で計画されている導水路に調整機能を付加させるものとする。

各パターンとも、地下調整池の上流側には、沈砂池が設置されていることを前提とする。

(3) 分岐・合流位置並びに調整池延長

坑口の位置を基にして、接続パターン毎に分岐・合流位置を計画する。分岐・合流位置によって、地下調整池延長、貯留可能高さが決定される。地下調整池延長が短い場合には、分岐点から合流点までの高低差が確保できないことより貯留可能高さが小さくなったり延長が短いために必要な調整池容量の確保が困難となる。地下調整池の容量を確保する上で、地下調整池の延長は$L = 2{,}000$m以上は必要となる。

したがって、計画の初期段階では、極力調整池の延長を長くとる方向で検討を行う。ただし、トンネル工事費は延長が短く、断面幅が大きい場合の方が掘削工事費は安価になることが予想されることから、調整池の容量を十分確保することが可能な地点においては、適宜トンネル延長を短く変更して検討を進めることが得策と考えられる。

(4) 貯留可能高さ

貯留可能高さは、分岐・合流位置、接続パターン毎に以下のとおりとなる（２．２．４参照）。

a 導水路途中接続案

導水路途中接続案の貯留可能高さは、分岐部導水路の最大使用水量流下時の等流水深から合流部導水路の最大使用水量流下時の等流水深の間となる。

b 水槽接続案

水槽接続案の貯留可能高さは、水槽の L.W.L.～H.W.L.の間となる。

c 導水路調整能力付加案

導水路調整能力付加案の貯留可能高さは、始点部導水路の最大使用水量流下時の等流水深から水槽 N.W.L.の間に限定される。

(5) 調整池断面

調整池の断面形状は、機械編成を基に幅、最小施工可能高さを以下に示すとおり標準化した。

表３－３　調整池断面の標準化

機械編成	内空幅[注)]	最小施工可能高さ
レール式（単線）	3.0～4.4m	3.4m
レール式（複線）	4.6～6.0m	4.2m
タイヤ式	6.2～7.6m	5.6m

注）開発計画支援システムでは、0.2m毎で設定

調整池の縦断的な断面変化は、上流側断面を最小断面とし、下流側に向かってインバートのみを掘り下げる形状（天端は同一レベル）として、ピーク継続時間を満足し、経済的な断面形状を選定する。

(6) 勾配

地下調整池の勾配は、既設導水路の勾配よりも緩くとることを前提として、1/2,000～1/5,000 の範囲で、経済的な勾配を選定する。

(7) トンネル本数

地下調整池内の水の貯留は、既設導水路分岐部（上流側）と合流部（下流側）の水位差間に行う。したがって、必要な容量を確保する上では、地下調整池延長が長く、断面規模を小さくした方が、高低差を稼げること、デッド容量を少なく抑えることができ経済的な断面となる。

工事費は、トンネル本数を少なくした方が一般的には安価となることから、所定のピーク継続時間を満足し、経済的なトンネル断面を考えると、極力トンネル延長を長くとり、トンネル本数を少なくした方が有利となる。

また、トンネル本数が多くなった場合には、調整池から水を供給する際に、トンネル合流部の損失が大きくなることが予想されることから、トンネル本数を少なくすることが水理特性（水路の分岐、合流による擾乱）からも望ましい。

(8) 断面設定手順

地下調整池の断面設定手順は、各接続パターン毎に以下のとおりとなる。

a　導水路途中接続案

導水路途中接続案では、貯留可能高さは分岐部導水路の最大使用水量流下時の等流水深から合流部導水路の最大使用水量流下時の等流水深の間に限定される。分岐位置、合流位置は、坑外施工条件等から決定される要因が大きいが、極力地下調整池の延長を長くした方が貯留能力を大きく取れる。

調整池の縦断線形は、下流側の合流位置での敷高を固定して、上流側に既設導水路よりも緩勾配（1/2,000～1/5,000）で上流側の分岐部の敷高を設定する。また、調整池の天端高さは分岐部の最大使用水量流下時の等流水深に調整池内に圧力が生じることのないよう十分な余裕高さを考慮して設定し、下流側まで水平とする。

地下調整池の平面線形については、地形条件を考慮することはいうまでもないが、所定の調整池容量を確保できない場合は、トンネル本数を増やして容量を確保する。

上記を整理すると、断面設定の手順は、以下のとおりとなる。

①分岐部、合流部、延長の決定
②合流部敷高の決定、貯留可能高さの算定（分岐部・合流部導水路のQmax流下時水位の算定）
③断面の選定（繰り返し計算、パラメータ：勾配、断面幅、トンネル本数）
ⅰ.勾配設定
ⅱ.分岐部敷高の決定
ⅲ.断面幅の設定
ⅳ.分岐部断面の決定（高さ：上流部水位＋0.2m※開発計画支援システムでの設定値）
ⅴ.分岐部断面の修正（最小施工可能高さより低い場合）
ⅵ.断面・縦断線形の決定
ⅶ.ピーク継続時間の算出（簡易算定方法）
ⅷ.工事費の算出
ⅸ.経済的な断面抽出

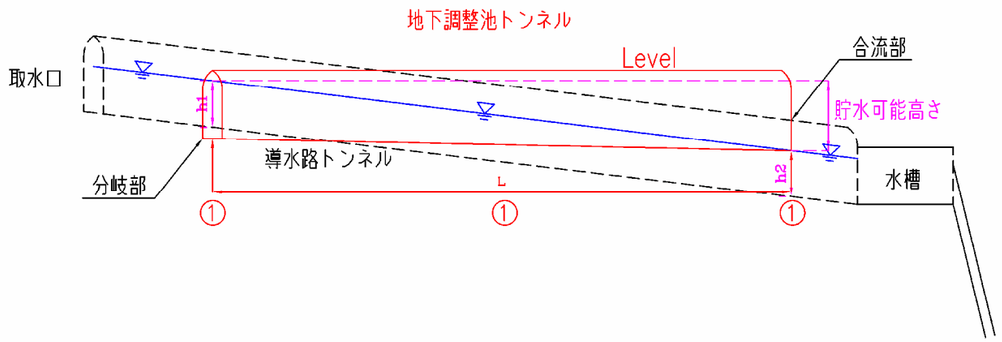
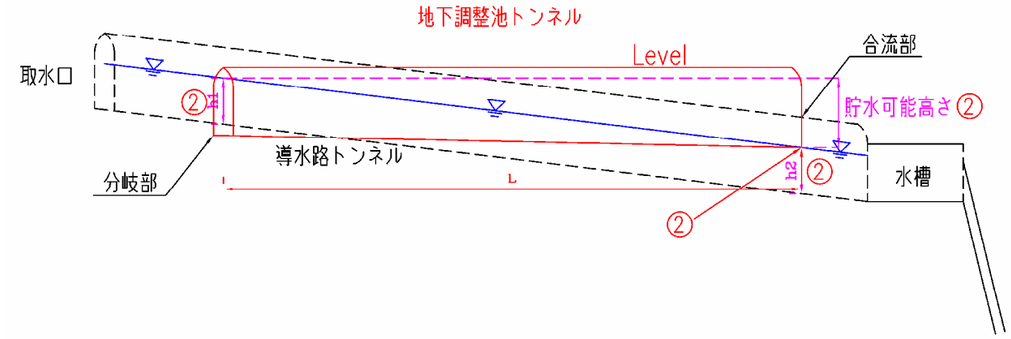
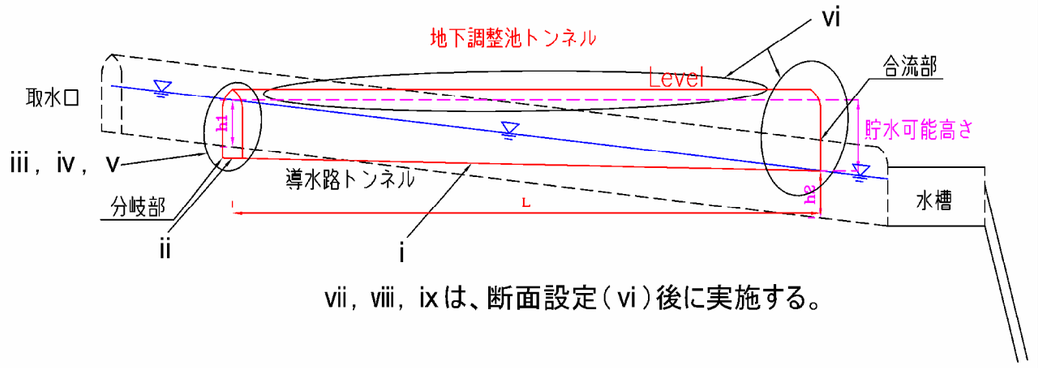
①分岐部、合流部、延長の決定	分岐部、合流部、延長を決定する。 
②合流部敷高・貯留可能高さの算定	合流部敷高、分岐部・合流部導水路のQmax流下時の水位を算出し、貯留可能高さを算定する。 
③断面の選定	断面の選定（繰り返し計算、パラメータ：勾配、断面幅、トンネル本数）  vii，viii，ixは、断面設定（vi）後に実施する。

図３－３　導水路途中接続案断面設定手順

b 水槽接続案

水槽接続案では、水槽の利用水深を利用して貯留を行うため、貯留可能高さは水槽の L.W.L.～H.W.L.の間に限定される。流量調整は、水車ガイドベーンに水槽水位に応じた水位垂下率（水位の変化幅に対して、ガイドベーンの開度を決める傾き）を設定し流量制御を行う。

調整池の縦断線形は、下流側の合流位置での敷高を固定して、上流側に既設導水路よりも緩勾配（1/2,000～1/5,000）で上流側の敷高を設定する。また、調整池の天端高さは水槽余水吐越流堤高さに十分な余裕高さを考慮して設定し、水平とする。

地下調整池の平面線形については、地形条件を考慮することはいうまでもないが、所定の調整池容量を確保できない場合は、トンネル本数を増やして容量を確保する。貯留可能高さが、L.W.L.～H.W.L.の範囲の制約で低く抑えられることから、平面積を大きくとる必要がある。

上記を整理すると、断面設定の手順は、以下のとおりとなる。

①始点部（上流部）、合流部、延長の決定
②始点部（上流部）・合流部敷高の決定、貯留可能高さの算定（水槽 L.W.L.～H.W.L.の算定）
③断面の選定（繰り返し計算、パラメータ：勾配、断面幅、トンネル本数）
　ⅰ.勾配設定
　ⅱ.始点部（上流部）敷高の決定
　ⅲ.断面幅の設定
　ⅳ.始点部（上流部）断面の決定（高さ：水槽余水吐越流堤高さ＋0.2m※開発計画支援システムでの設定値）
　ⅴ.始点部（上流部）断面の修正（最小施工可能高さより低い場合）
　ⅵ.断面・縦断線形の決定
　ⅶ.ピーク継続時間の算出（簡易算定方法）
　ⅷ.工事費の算出
　ⅸ.経済的な断面抽出

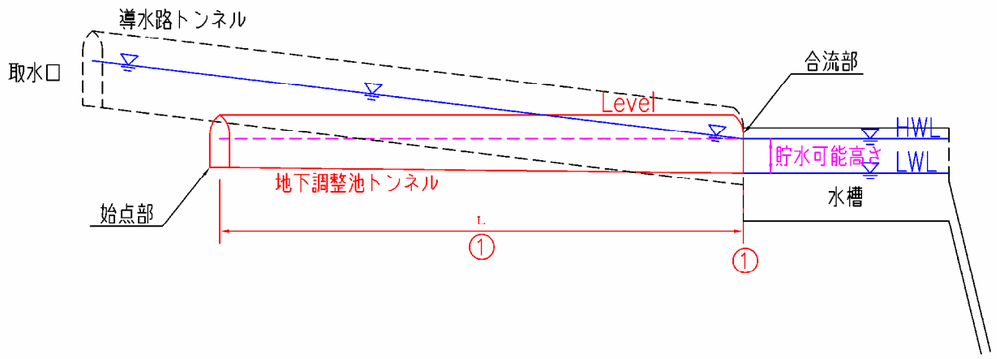
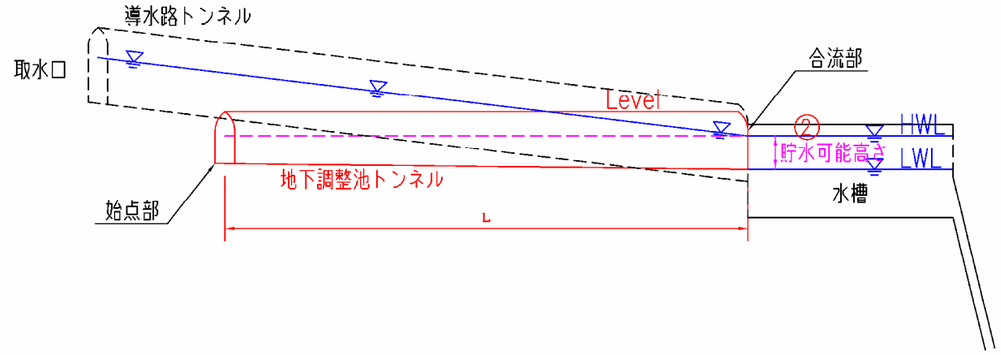
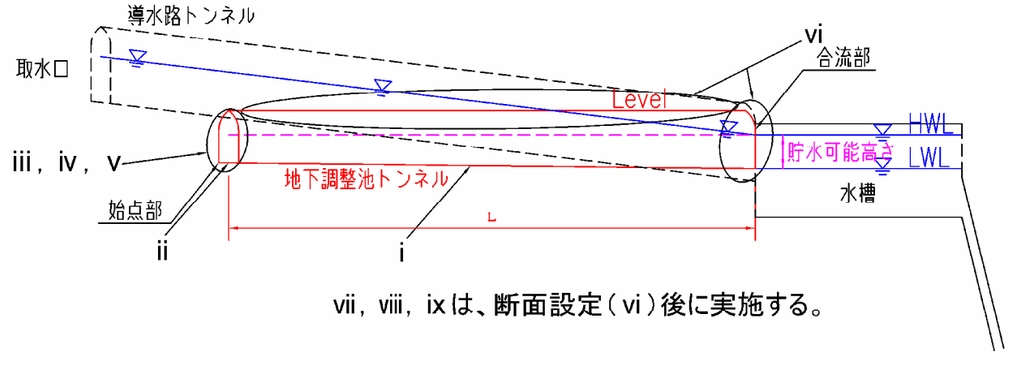
①始点部（上流部）、終点部（合流部）、延長の決定	始点部（上流部）、合流部、延長を決定する。 
②始点部（上流部）・終点部（合流部）敷高・貯留可能高さの算定	始点部（上流部）・合流部敷高、水槽 L.W.L.～H.W.L.を算出し、貯留可能高さを算定する。 
③断面の選定	断面の選定（繰り返し計算、パラメータ：勾配、断面幅、トンネル本数）  vii，viii，ixは、断面設定（vi）後に実施する。

図３－４　水槽接続案断面設定手順

c　導水路調整能力付加案

導水路調整能力付加案は、流れ込み式で計画されている導水路に調整機能を持たせるものである。地下調整池の最大延長は、計画導水路延長となり、この範囲内で必要調整池容量が確保できる延長を設定する。貯留可能高さは始点部導水路の最大使用水量流下時の等流水深から水槽 N.W.L.の間に限定される。

調整池の縦断線形は、下流側の敷高を固定して、上流側に計画導水路よりも緩勾配（1/2,000 ～1/5,000）で上流側の敷高を設定する。また、調整池の天端高さは上流側の水深に十分な余裕高さを考慮して設定し、調整池内に圧力が生じることのない高さとし、下流側まで水平とする。

地下調整池の平面線形については、基本的には流れ込み式計画時の平面線形と同一とする。

なお、所定の調整池容量を確保できない場合は、計画の水槽水位 N.W.L.を低下させて所定の調整池容量を確保する方向で検討する。

上記を整理すると、断面設定の手順は、以下のとおりとなる。

①始点部、終点部、延長の決定
②終点部敷高の決定（敷高は、計画導水路の敷高に合わせる）、貯留可能高さの算定（始点部導水路のQmax 流下時水位から水槽 N.W.L.）
③断面の選定（繰り返し計算、パラメータ：勾配、断面幅、トンネル本数）
ⅰ.勾配設定
ⅱ.始点部敷高の決定
ⅲ.断面幅の設定
ⅳ.始点部断面の決定（高さ：始点部水位＋0.2m※開発計画支援システムでの設定値）
ⅴ.始点部断面の修正（最小施工可能高さより低い場合）
ⅵ.断面・縦断線形の決定
ⅶ.ピーク継続時間の算出（簡易算定方法）
ⅷ.工事費の算出
ⅸ.経済的な断面抽出

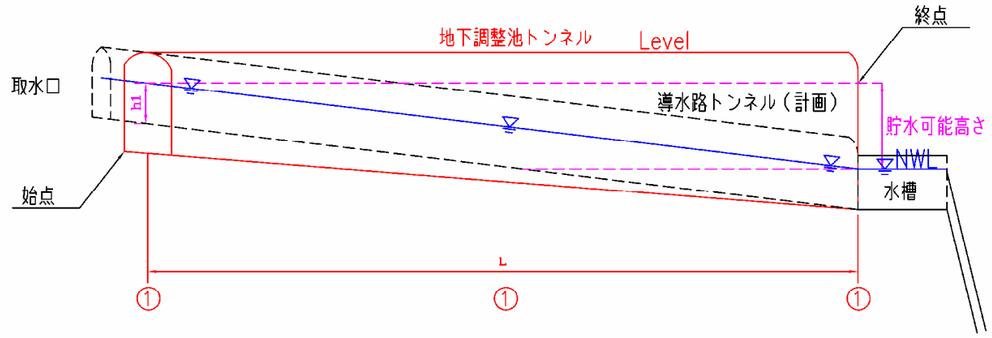
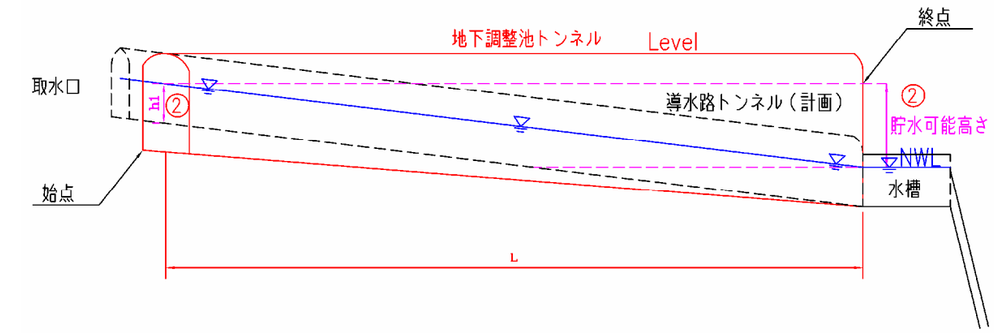
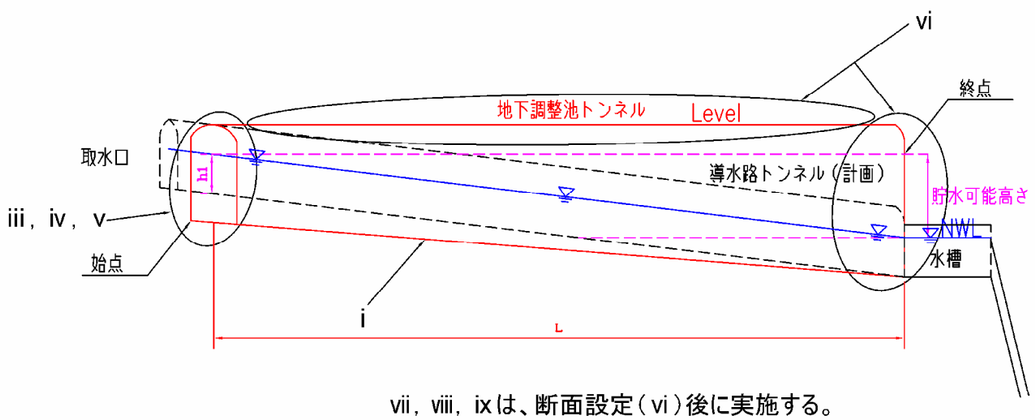
①始点部、終点部、延長の決定	始点部、終点部、延長を決定する。 
②終点部敷高・貯留可能高さの算定	終点部敷高、始点部導水路のQmax 流下時の水位、水槽 N.W.L.を算出し、貯留可能高さを算定する。 
③断面の選定	断面の選定（繰り返し計算、パラメータ：勾配、断面幅、トンネル本数）  vii，viii，ixは、断面設定（vi）後に実施する。

図３－５　導水路調整能力付加案断面設定

３．３ 調整池運転パターン

地下調整池設置の目的は、夜間のオフピーク時の水を地下調整池に貯留するとともに、昼間のピーク時間帯にこの水を利用して発電を行い、ピーク時の有効出力の増加と効率向上に伴う発電電力量の増加を目的とした技術である。

そのため、地下調整池を設置した場合の運転パターンは、ピーク時の有効出力の増加を主眼とした kW 優先型の運転パターンと地下調整池を最大限有効に活用して kWh を最大とする kWh 優先型の運転パターンを設定することを可能とした。

【解説】

「開発計画支援システム：運転パターン選定システム」では、以下の運転パターンの電力量計算を行えることとした。

(1) 流れ込み式運転

調整を全く行わない流れ込み式発電（現行運用）を行った運転パターン。この運転パターンを他の調整運転を行った場合との比較対象を行う。

(2) ｋW 優先運転

a ｋW 優先運転①

ピーク継続時間を固定して、ピーク時に当該発電所の出力が最大となるための必要容量を、貯留時には Qmin（Qmin＝0.0m³/s 含む）での発電を行いながら機械的に貯める運用。

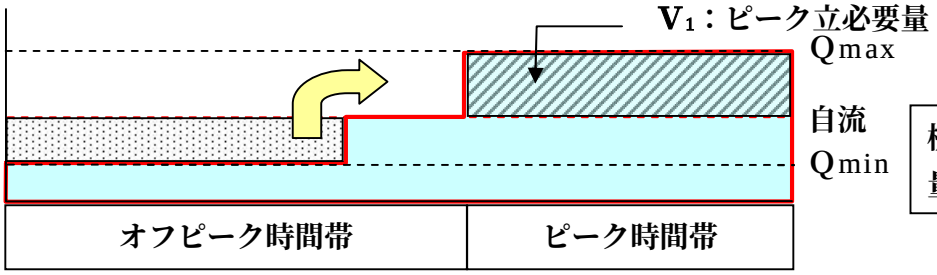


図３－６　ｋW優先運転①の例（Qmin→自流→Qmax）

b ｋW 優先運転②

ピーク継続時間を固定して、ピーク時に当該発電所の出力が最大となるための必要容量を、貯留時間を変化させて、１日の発電電力量が最大となるよう調整する運用。

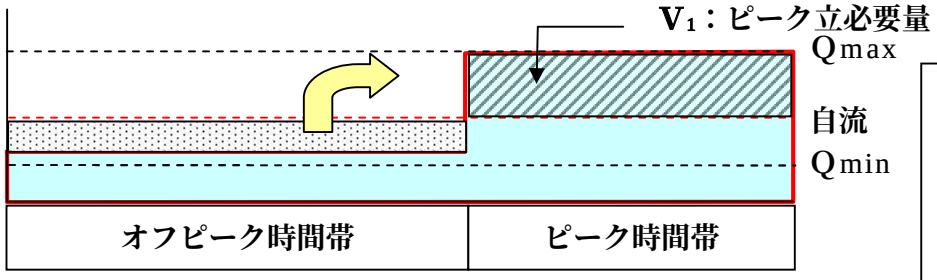


図３－７　ｋW優先運転②の例（Q任意→Qmax）

(3) ｋＷｈ優先運転

１日の発電電力量が最大となるような調整容量、貯留時間、ピーク継続時間を調整する運用。なお、kWh 優先の運転パターンの選定に際しては、対象がシリーズ発電所の場合等、運用決定に対する諸条件が複雑となることから、「開発計画支援システム：運転パターン選定システム」では、遺伝的アルゴリズム（ＧＡ）を用いて、最適な運転パターンの選定を可能とした。

地下調整池を有効に活用して、発電電力量が最大となる運転パターンを求めるためには、調整容量、貯留時間、ピーク継続時間、流況曲線データ、水車・発電機効率曲線データなどの数多くのパラメータを組み合わせた計算が必要となる。このため、従来の手法では最適運用パターンを求めるのに長大な計算時間が掛かることから、厳密解ではなく実用的な解を容易に求めることができる手法である遺伝的アルゴリズム（ＧＡ）を利用することとした。

これにより、①シリーズ発電所群全体の最適運用等の検討が容易にできる、②現地の取水制御（自動）に反映が可能である、kW 重視あるいは kWh 重視という事業者のニーズに合わせた運用の検討が容易となる、等のメリットが得られる。（遺伝的アルゴリズムは、巻末資料5『遺伝的アルゴリズム（ＧＡ）の概要』を参照）

なお、「運転パターン選定システム」は、主に地下調整池の設置を前提とした技術であるが、既設設備（既設調整池、調整利用可能な遊休水路、導水路内貯留等）を利用した、最適運転パターンの検討においても利用可能である。

「開発計画支援システム：運転パターン選定システム」を既設設備に適用することで、簡易に効率的な運転パターンの検討を行うことが可能である。（「運転パターン選定システム」の詳細については、巻末資料 1『地下調整池　開発計画支援システム　説明書』を参照）

第４章 施工

４．１ 地下調整池の施工法について

地下調整池トンネルの施工は、地山条件や地下調整池トンネルの規模に応じた最適な掘削工法を採用するとともに、最新の技術を取り入れ、コスト低減を図るものとする。

発破掘削工法と TBM 掘削工法について、現時点での最新技術に基づくコスト低減効果を考慮した施工を採用する。

【解説】

地下調整池を施工する場合には、最新の技術を取り入れて常にコスト低減に努める必要がある。本章では、『水力資源有効活用技術開発調査（地下調整池による水路式発電所増強技術開発調査)』における検討結果から、発破掘削工法と TBM 掘削工法について、コスト低減・工期短縮が可能となる最新の技術について記述する。なお、各新技術導入によるコスト低減･工期短縮効果の試算は、『第 5 章 工事費』に記載した考え方に基づくものである（試算の詳細は、巻末資料 6『地下調整池　構築技術　コスト低減要因』に示す)。

地下調整池トンネルを計画する上での発破掘削工法と TBM 掘削工法による工事費については、添付資料の「開発計画支援システム：工事費算定システム」を用いて簡易に概算工事費を算出することができるため、施工方法の選定に関するコスト比較を容易に行うことが可能である。(「開発計画支援システム：工事費算定システム」の詳細については、巻末資料 1『地下調整池　開発計画支援システム　説明書』を参照)

４．２ 発破掘削工法による地下調整池トンネルの施工

４．２．１ 施工概要

発破掘削工法による地下調整池トンネルの施工については、従来の発破掘削工法に対して以下に示す新技術を、地山条件や地下調整池トンネル規模に応じて適切に導入することにより、コスト低減を図るものとする。

1）長孔発破技術
2）爆薬技術
3）コンピュータ制御自動削孔技術
4）高強度吹付けコンクリート技術
5）シングルシェル技術

【解説】

地下調整池トンネルの設計･施工を行うに際して適用可能な新技術は、以下のとおりである。

各新技術は、単独では大きなコスト低減効果が得られないものもあるが、他の新技術と組み合わせることによりコスト低減および工期短縮効果が得られると考えられるため、本マニュアルでは可能な限り全ての新技術を組み合わせて導入するものとした。

1）長孔発破技術

通常よりも長い 1 発破進行長で発破することで、作業の効率化が図れるとともに、急速施工が可能となるため、それに伴うコスト低減が図れる。

長孔発破の可否は地山条件に左右されるため、本マニュアルでは岩盤等級 C_H 級以上の良好な地山に対して行うものとする。なお、長孔発破技術を有効活用するためには、後述の爆薬技術と併用することが重要である。

2）爆薬技術

従来用いられているスラリー爆薬よりも安価となるエマルション爆薬を現場にて製造（サイトミキシング）することで材料費の低減が図れる。また、エマルション爆薬では、装薬の効率化が図れるため、長孔発破と組み合わせることで急速施工が可能となり、工期短縮に伴うコスト低減効果も期待できる。

3）コンピュータ制御自動削孔技術

削孔作業をコンピュータ制御した自動削孔が可能となるドリルジャンボを導入することで、削孔作業の効率化、削孔精度の向上による火薬量の減少、余掘り量の減少などにより、急速施工（工期短縮）が可能となる。また、作業人員の省力化が可能となるため、更なるコスト低減効果が期待できる。

4）高強度吹付けコンクリート技術

吹付けコンクリートの強度を上げることで、吹付け厚の薄肉化による施工時間短縮（急速施工）効果とともに、掘削断面の縮小に伴う掘削量低減によるコスト低減効果が期待できる。

5）シングルシェル技術

トンネルの安定を一次支保と地山で確保し、覆工を省略することで、掘削断面の縮小効果によるコスト低減を図ることが可能となる。

４．２．２ 長孔発破技術

岩盤等級 C_M 級以上の良好な地山に対しては、通常よりも長い 1 発破進行長となる長孔発破を積極的に採用し、コスト低減を図る。

【解説】

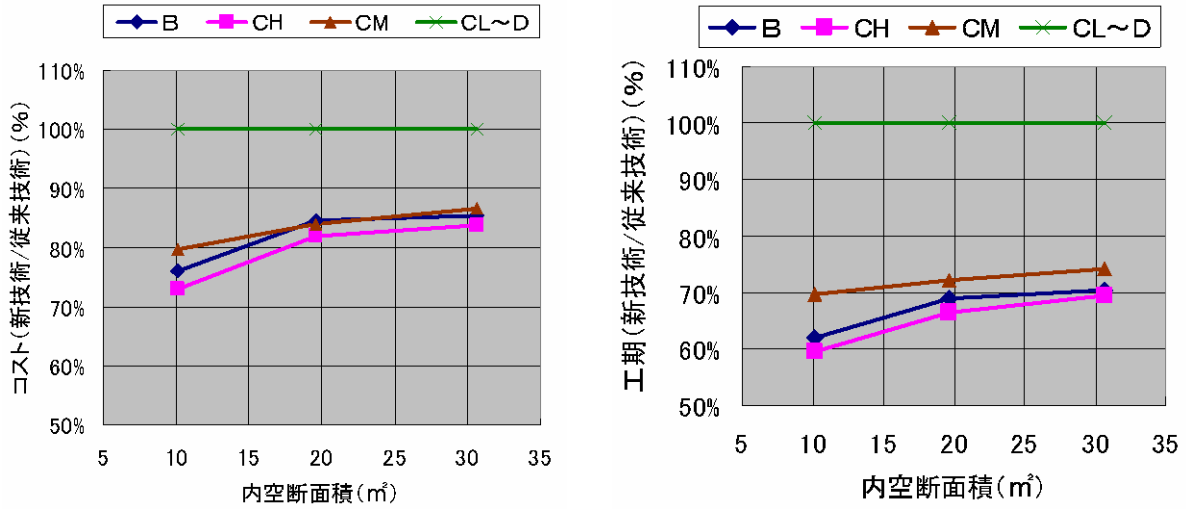
(1) 長孔発破技術について

発破掘削において穿孔長および 1 発破掘進長を長くすることにより、掘削効率を高めて急速施工を実現する技術である。欧米では、トンネル全線に亘って均一で安定した地山が多いため長孔発破による掘削は一般的になっているが、我が国では地質変化の大きな地山や軟弱な地山が多いこと、標準積算に制約があることなどから採用事例は多くない。

そのため、岩盤等級が C_M 級以上の良好な地山に対して長孔発破技術を導入するものとした。

(2) 長孔発破技術によるコスト低減･工期短縮効果

長孔発破技術の導入効果について試算した結果、図 ４－１に示すように従来技術に比べての約 70～85%のコスト･60～75%の工期となり、大きいコスト低減効果が得られることが確認された。



（a）コスト低減効果　　（b）工期短縮効果

注）図中の B，C_H，C_M，C_L，D は、岩盤等級を表す。

図 ４－１　長孔発破技術の導入効果

(3) 長孔発破技術導入時の留意事項

長孔発破により急速施工を実現するためには、以下の点に留意する必要がある。

1）長孔発破では 1 発破で発生する掘削ずりが大量であることから、ずり出しがサイクルタイムのネックとなることが多いため、穿孔･装薬･爆破作業とバランスした能力の高いずり出し設備を採用する必要がある。

2）長孔の装薬孔に爆薬を装填するためには、装薬が効率的にできる爆薬を使用すること

がサイクルタイムの短縮に効果的である。そのためには、硝安油剤爆薬（ANFO）やエマルション爆薬が適している。装薬時間の短縮は、切羽直近での作業時間を短縮することにもなるため、作業員の安全性の向上にも役立つ。

3）ずり積時間を短縮するためには、発破による破砕ずりがずり積込に適当な粒径で、かつ均一であることが効果的である。そのための芯抜き方法、発破パターン、装薬量の最適化が必要である。

4）1 発破掘進長が長くなるに従って余掘り量が増加するため、削孔の精度を向上させることにより余掘り量を減少させる必要がある。また、最外周孔にスムーズブラスティング工法を採用すれば、余掘りの低減には極めて効果的である。

４．２．３ 爆薬技術

エマルション爆薬を用いることで発破孔への装薬の効率化が図れ、長孔発破と組み合わせることで急速施工が可能となり、工期短縮に伴うコスト低減が期待できる。また、エマルション爆薬を現場にて製造（サイトミキシング）することで爆薬材料費の低減効果が期待できる。このことから、エマルション爆薬を積極的に採用し、コスト低減を図る。

【解説】

(1) エマルション爆薬について

発破掘削に使用される爆薬は、硝安油剤爆薬（ANFO）と含水爆薬（スラリー爆薬、エマルション爆薬）の 2 種類があり、一般には含水爆薬（スラリー爆薬）が多く使用されている。

本技術で採用したエマルション爆薬は、含水爆薬と同じ材料であるが気泡を含まない状態で貯蔵運搬され、この状態では爆発せず、切羽で装薬孔に装填するときに気泡を混入することで鋭感化して爆発可能な状態となる。平成16年3月の火薬類取締法施行規則の改正により、移動式製造設備を用いて切羽近傍にて現場混合することで爆薬を製造し、直接ホース等で発破孔に装薬して発破が行えるようになった。なお、同改正に伴い気泡を含まない状態のエマルションマトリックスは当座火薬類として扱うこととなったため、輸送･貯蔵･使用は全て火薬類取締法の規制を受けることなる。

エマルション爆薬は、耐水性が高いため湧水箇所でも使用可能であり、後ガスがほとんど無いことから作業環境に優れる。また、エマルション爆薬をサイトミキシングしたエマルション爆薬（バルクエマルション爆薬）を使用する場合には、装薬孔内で爆薬化するため取り扱い上の安全性が高い。

(2) エマルション爆薬のサイトミキシング（現場製造）に関する規制

1）最大製造数量　：1 日の消費数量以下
2）責任者　：使用量１トン以上　製造保安責任者（甲種）1 名
　　製造保安責任者代理者（甲種）1 名
　　使用量 1 トン未満　製造保安責任者（乙又は甲種）1 名
　　製造保安責任者代理者（乙又は甲種）1 名
3）製造場所の制限　：保安距離の確保がなされていれば特に制限はない（切羽での製造が可能）
4）製造施設及び設備：最低限必要な設備（火薬庫、移動式製造設備、廃棄焼却場）
5）作業資格　：製造作業者の内、発破孔に装薬する作業者は発破士もしくは火薬類取扱者免状を有していなければならない。
6）製造の許認可　：製造所毎（トンネル現場毎）に経済産業大臣の製造の許可が必要。（工事終了後は製造営業の廃止届けの提出が必要）

(3) バルクエマルション爆薬導入によるコスト低減効果

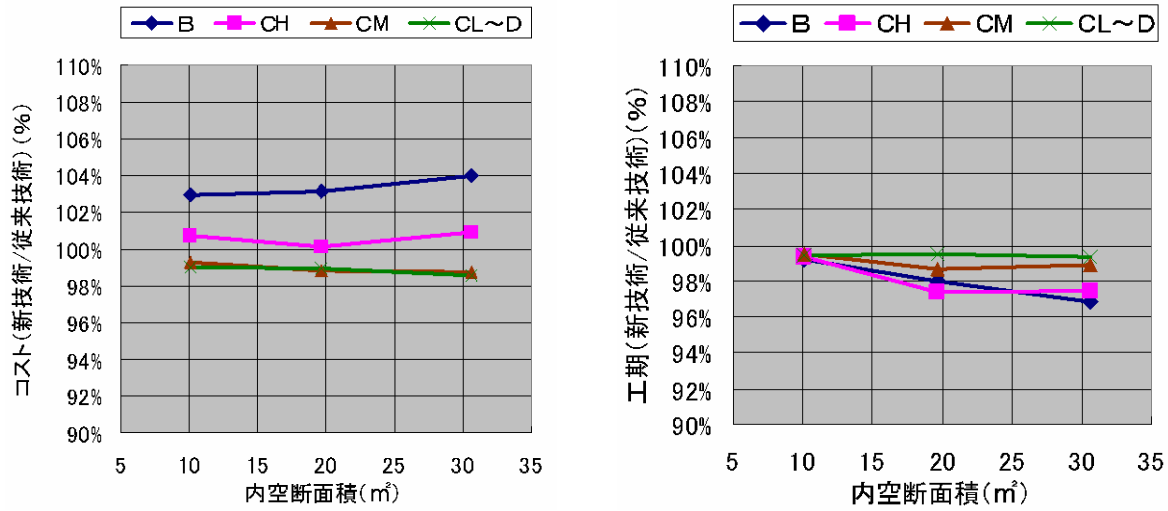
国内でのバルクエマルション爆薬の価格が未定であるがメーカーに対するヒアリング調査

では、爆薬の価格は含水爆薬（スラリー爆薬）と硝安油剤爆薬（ANFO）の中間程度となり、スラリー爆薬の 6 割程度の単価となる見込みである。ただし、発破孔に対して密に装薬することが可能となるため、爆薬使用量はスラリー爆薬よりも増えることとなる。バルクエマルション爆薬の導入効果について試算した結果、図 ４－２に示すように岩盤等級によってコストの増減が見られるが、装薬作業効率などの面で優位性が得られるため、長孔発破技術など他の新技術と組み合わせることで、総合的にコスト低減効果が得られると考えられる。

(4) バルクエマルション爆薬導入による工期短縮効果

発破孔への装薬時間の短縮および発破孔削孔数の減少に伴う工期短縮効果が期待できる。

バルクエマルション爆薬の導入効果について試算した結果、図 ４－２に示すように装薬時間短縮効果によりすべての岩盤等級、断面規模において工期短縮効果が得られている。特に長孔発破技術と組み合わせることでさらにその効果が得られる。



（a）コスト低減効果　　（b）工期短縮効果

注）図中の B，C_H，C_M，C_L，D は、岩盤等級を表す。

図 ４－２　バルクエマルション爆薬技術の導入効果

４．２．４ コンピュータ制御自動削孔技術

削孔作業をコンピュータ制御した自動削孔が可能となるドリルジャンボを積極的に導入することで、削孔作業の効率化、削孔精度向上による装薬量の低減、余掘り量の減少に伴う工期短縮（コスト低減）に努める。

【解説】

(1) コンピュータ制御自動削孔技術について

コンピュータ制御自動削孔技術は、ドリルジャンボに小型コンピュータを搭載し、トンネル線形、トンネル断面、発破パターンおよび削孔角度などの削孔に関わる情報をあらかじめ入力しておくとともに、測量用レーザービーム等を用いてドリルジャンボの位置を確定しておくことにより、操作盤のボタン操作により計画削孔パターンに従って自動的に削孔作業を行うことができるシステムである。削孔作業がコンピュータにより自動制御されるため、高精度水平芯抜きも同時に可能となる。さらに、削孔完了後にコンピュータに記録したのみ下がり速度や削孔速度等のデータを容易に確認できるとともに、これらのデータを以降の削孔作業に反映させることができる。

コンピュータ制御自動削孔には、

レベル１）フィードの方向が操作盤上のディスプレーに表示され、操作員がそれを見ながらブームとフィードを操作する。

レベル 2）削孔位置、削孔角度、孔の深さが操作盤上のディスプレーに表示され、操作員がブームとフィードを操作する。

レベル 3）完全自動でブームの位置決め、削孔を行う。

といったレベルがある。欧州ではレベル 2）の自動制御が一般的であるが、我が国ではレベル 1）が普及しつつあるのが現状である。

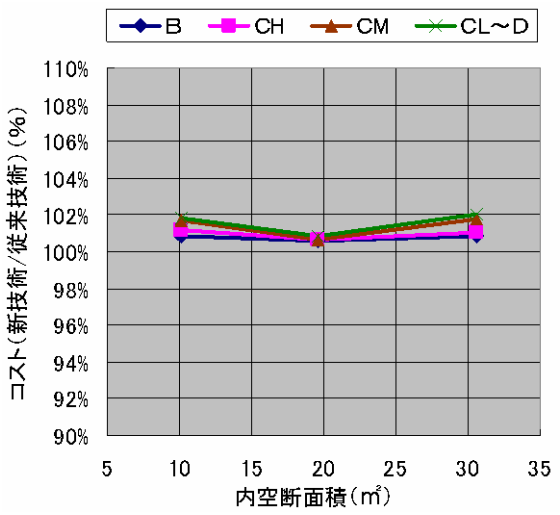
※）本検討での新技術は、レベル 2）を対象とする。

(2) コンピュータ制御自動削孔技術によるコスト低減･工期短縮効果

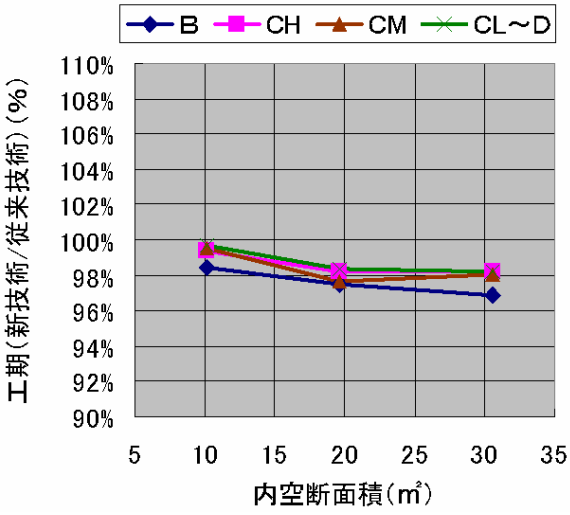
コンピュータ制御自動削孔技術の導入効果について試算した結果、図 ４－３に示すように、全体的な傾向として工期短縮と余掘り減によるコスト減と、機械損料増によるコスト増が相殺し、従来技術とほぼ同等のコストとなることが確認された。

また、削孔速度の向上に伴い、図 ４－３に示すように、すべての岩盤等級に対して工期短縮効果が期待できる。

なお、試算時のメーカー価格調査では、コンピュータ制御自動削孔機能を搭載したドリルジャンボの基礎価格は、通常型よりも 5 割増し程度であったが、今後の機械が普及することにより価格差は減少するものと予想される。



（a）コスト低減効果



（b）工期短縮効果

注）図中の B，C_H，C_M，C_L，D は、岩盤等級を表す。

図 4－3　コンピュータ制御自動削孔技術の導入効果

４．２．５ 高強度吹付けコンクリート技術

地下調整池トンネルにおける吹付けコンクリートは、高強度吹付けコンクリート（fck＝30N/mm²）を使用することを標準とする。

このことにより、吹付け厚の薄肉化による施工時間短縮（工期短縮）と、それに伴う掘削断面の縮小に伴うコスト低減効果が期待できる。

【解説】

(1) 高強度吹付けコンクリートについて

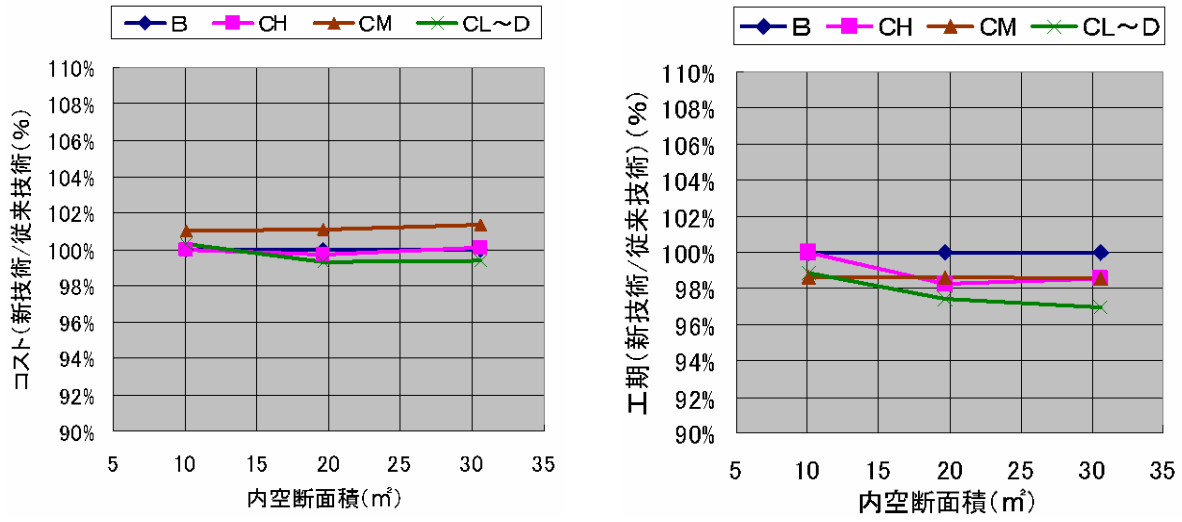
トンネル工事で一般に使用されている吹付けコンクリートは、材令 28 日強度で 18N/mm² が標準であった。しかし、第二東名･名神高速道路などの大断面トンネル施工においては、従来の吹付けコンクリートと力学的性能が同等以上で、かつ極力薄い吹付け厚の材料による高速施工が要求されたことから、高強度吹付けコンクリートが採用され始めている。

この高強度吹付けコンクリートは、強度発現のため単位セメント量が従来の吹付けコンクリートより多くなるため、結果的に粘性が高くなり、跳ね返りが減少することとなっている。そのため、強度増加による吹付けコンクリート厚の薄肉化に伴う吹付けコンクリート量および掘削断面積の減少と相まって、高強度吹付けコンクリートの採用はサイクルタイムの減少（工期短縮）に寄与することとなる。

(2) 高強度吹付けコンクリートによるコスト低減･工期短縮効果

高強度吹付けコンクリート技術導入効果を試算した結果、図 ４－４に示すように工期短縮と余吹き減によるコスト減と、材料単価増によるコスト増が相殺し、従来技術とほぼ同等のコストとなることが確認された。

また、高強度吹付けコンクリートを採用することで吹付け厚の低減が図れる岩盤等級 C_H～D 級地山については、工期短縮効果も期待できる。



(a) コスト低減効果　　(b) 工期短縮効果

注）図中の B，C_H，C_M，C_L，D は、岩盤等級を表す。

図 ４－４　高強度吹付けコンクリート技術の導入効果

４．２．６ シングルシェル技術

吹付けコンクリートを用いた永久覆工は、巻立てコンクリートによる覆工に比べて施工性、経済性の面で有利となるため、地下調整池トンネルでは吹付けコンクリートを用いたシングルシェル構造を標準とする。

【解説】

(1) シングルシェルの定義

一般に水路の永久覆工として、トンネル掘削時に施工される現場打ちコンクリートによる二次覆工を省略し、吹付けコンクリートのみによる仕上げを行うものをシングルシェルと呼んでいる。この場合、掘削時に切羽近傍にて行われる吹付けコンクリート（一次吹付けコンクリート）のみによる構造と、切羽後方にて二次吹付けコンクリートを行い、これを仕上げとする場合がある。本マニュアルでは、図 ４－５に示すように、二次吹付けコンクリートによる仕上げを行うものをシングルシェルと定義する。

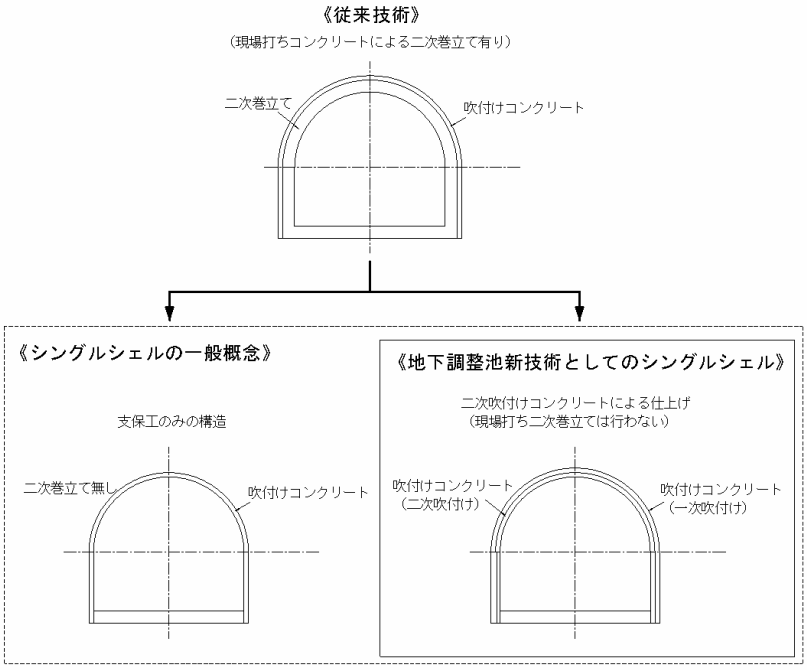


図 ４－５　地下調整池トンネルにおけるシングルシェルの定義

(2) シングルシェルの適用理由

以下の理由により、シングルシェルを導入するものとした。

①『中小水力発電の新技術の手引 平成 5 年 1 月 （財）新エネルギー財団』において、小断面トンネル（内空幅 4.5m 未満程度）ではシングルシェルが既に実用化されている。

② 断面規模が大きく、かつ、発破掘削方式にて施工されている地下発電所や石油備蓄基地および導水路トンネルにおいても既に施工実績が見られる。

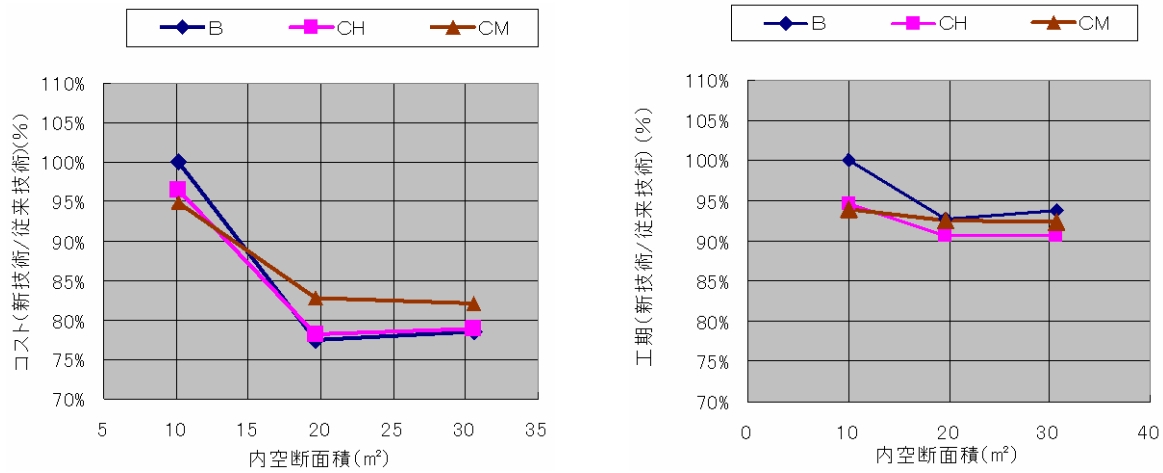
③ NATM による発破掘削方式の施工では、一次支保の状態で地山の安定が図られることが原則となっているため、供用時のトンネル安定上の問題は小さい。

④ 地下調整池トンネル内は一般者の立ち入りが制限されるため､肌落ちや小規模な崩落が生じた場合であっても社会的な影響の問題は小さい。

⑤ 地下調整池で用いられるような運用状態（トンネル内の水位の日変動が大きい場合）における、水位変動に伴う水圧の変動に対する応力状況の変化については、高強度吹付けコンクリートの耐久性を検証し、シングルシェル構造の安全性を確認した。

(3) シングルシェル導入によるコスト低減･工期短縮効果

シングルシェル導入効果を試算した結果､図 ４－６に示すように従来技術において巻立てコンクリートによる覆工を設置していた 20 ㎡程度以上の断面においては､シングルシェルを導入することにより、コストは 20%程度の低減効果を得られ、工期についても 5～10%の低減効果を得られることが確認された。



（a）コスト低減効果　　（b）工期短縮効果

注）図中の B，C_H，C_M は、岩盤等級を表す。

図 ４－６　シングルシェル技術の導入効果

(4) シングルシェル導入時の留意点

シングルシェルの導入に際して、掘削サイクルにて一次支保として施工される吹付けコンクリート状態のままでは、

① 一次支保設置後の次回切羽掘削時の発破による影響

② 一次支保設置後の天端沈下、内空変位による影響

により、吹付けコンクリート面にひび割れが発生することは否めない。地下調整池トンネルにおいてこのようなひび割れからの漏水が発生することは、調整池水量の低下となることから避ける必要がある。

したがって、発破および内空変位等が吹付けコンクリートに与える影響を考慮し、トンネル内空変形が収束したことを確認した後に、二次支保として吹付けコンクリートによる仕上げライニングを行うことを標準とした。

なお、以下に示す条件下においては、別途巻立てコンクリートによる永久覆工も検討する

必要がある。

1）脆弱な地山や、将来水による劣化が予想される地山、土被りが薄い坑口部のように将来土圧が変化すると予想される地山で、永久覆工に力学的機能が要求される場合。

2）寒冷地における坑口付近で、凍結融解による劣化が予想される場合。

3）矢板工法を用いた場合。

４．３ ＴＢＭ掘削工法による地下調整池トンネルの施工

４．３．１ 施工概要

TBM 掘削工法による地下調整池トンネルの施工については、従来の TBM 掘削工法に対して以下に示す新技術を地山条件や地下調整池トンネル規模に応じて適切に導入することにより、コスト低減を図るものとする。

1）カッタービットの急速交換技術
2）カッタービットの長寿命化技術
3）簡易ライナーの導入
4）楕円 TBM の活用
5）シングルシェル技術

なお、TBM 掘削工法においては、施工現場までのマシン搬入のための工事用道路の確保およびマシン組立のための仮設ヤードの確保が可能であることが、採用に対する前提条件となる。

【解説】

地下調整池トンネルの設計･施工を行うに際して適用可能な新技術は以下のとおりである。

1）カッタービットの急速交換技術

カッタービットの交換時間の短縮による急速施工（工期短縮）効果と、それに付随するコスト低減効果が図れる。

2）カッタービットの長寿命化技術

長寿命対応型カッタービットを用いることでカッタービット交換回数を低減することによる急速施工（工期短縮）効果と、それに付随するコスト低減効果が図れる。

3）簡易ライナーの導入

破砕帯部などに対して、廉価ライナー（鋼製ライナー）を用いた高速施工を行うことで、地山崩壊防止対策費用の低減などに伴うコスト低減効果が図れる。

4）楕円 TBM の活用

掘削高さに比べて掘削幅を広くした楕円 TBM 掘進機を用いた施工を行うことで、掘削 1m 当りの地下調整池容量を増やすことが可能となるため、地下調整池総延長を短くすることでコスト低減効果が図れる。

5）シングルシェル技術

トンネルの安定を支保と地山で確保し、覆工を省略することで、掘削断面の縮小効果と覆工省略効果によるコスト低減を図ることが可能となる。

４．３．２ カッタービットの急速交換技術

カッタービット交換による施工時間のロスが生じないように、地下調整池トンネルに使用する TBM の導入に際しては、カッタービットの急速交換が可能となる設備を盛り込むことを標準とする。

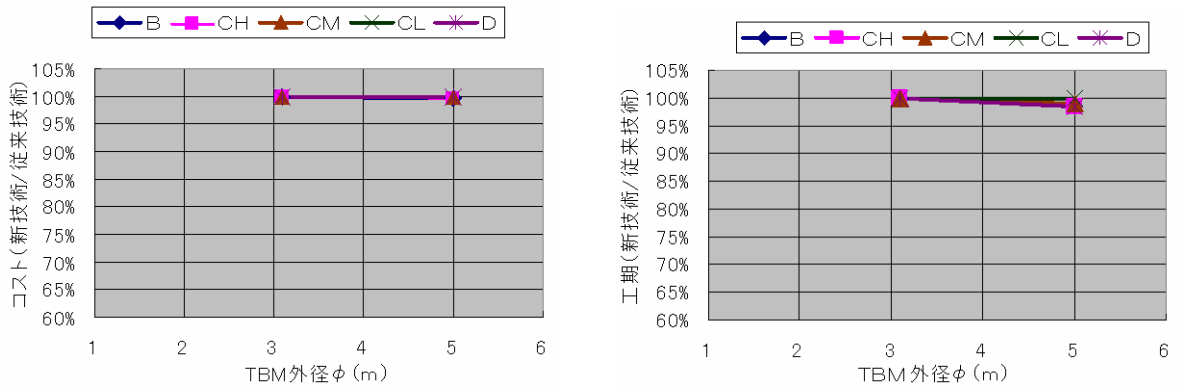
【解説】

(1) カッタービットの急速交換について

TBM 導入時において、カッタービットの急速交換装置を導入し、従来の手作業によるビット交換よりも安全性の向上および作業の高速化を目指すものである。現在では、各マシンメーカーより様々な交換装置が提案、実用化されているため、その採用に際しては TBM 径とマシンコストを考慮した上で、コスト低減に努めるものとする。

(2) カッタービットの急速交換設備導入によるコスト低減･工期短縮効果

カッタービットの急速交換設備導入効果について試算した結果、図 ４－７に示すように TBM 掘削径が大きくなるほど工期短縮効果は得られるが、岩盤等級や断面規模に関わらずコストについては従来技術とほぼ同等となることが確認された。



（a）コスト低減効果　　（b）工期短縮効果

注）図中の B，C_H，C_M，C_L，D は、岩盤等級を表す。

図 ４－７　カッタービットの急速交換技術の導入効果

４．３．３ カッタービットの長寿命化技術

カッタービット交換による施工時間のロスが生じないように、地下調整池トンネルに使用する TBM の削孔カッタービットは耐摩耗性の高い材質のビット採用し、カッタービットの長寿命化を図ることを標準とする。

【解説】

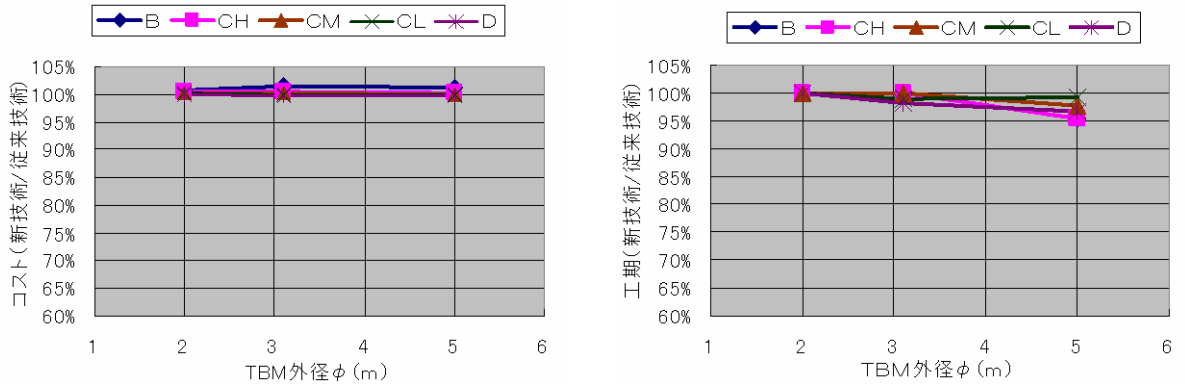
(1) カッタービットの長寿命化技術について

カッタービットに耐摩耗性の高い金属を使用することや、ビット自体を大型化させることによりカッタービットの長寿命化をはかる。このことにより、カッタービットの交換回数の低減とそれに伴う掘削作業の中断を減らすことにより、工期短縮とそれに伴うコスト低減を図るものである。

なお、耐摩耗性の高い材質のカッタービットは、標準材質のものに比べて高価であることや、硬度が高い分若干じん性が劣るなどの問題もあるため、採用に際しては地質との適応性を十分考慮する必要がある。

(2) カッタービットの長寿命化技術導入によるコスト低減･工期短縮効果

耐摩耗性硬質カッタービットの導入効果について試算した結果、図 ４－８に示すようにカッタービット単価増によるコスト増と、ビット交換回数減によるコスト減が相殺され、従来技術とほぼ同等のコストとなることが確認された。



（a）コスト低減効果　　（b）工期短縮効果

注）図中の B，C_H，C_M，C_L，D は、岩盤等級を表す。

図 ４－８　カッタービットの長寿命化技術の導入効果

４．３．４ 簡易ライナーの導入

固結度の低い崩落性地山の支保構造は、崩落岩塊などが仮受けできる程度の比較的簡易な鋼製ライナーを用いることで、施工速度を低下（TBM 掘進稼働率の低下）させないように施工することを標準とする。

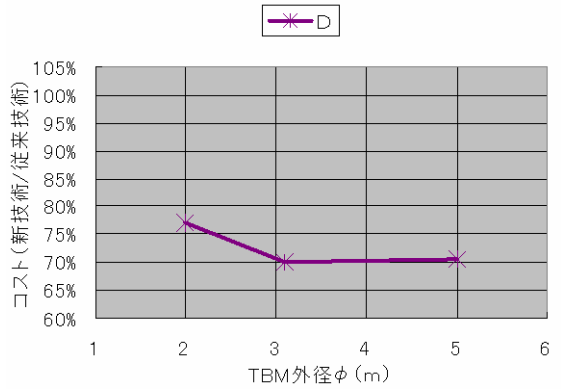
【解説】

(1) 簡易ライナーについて

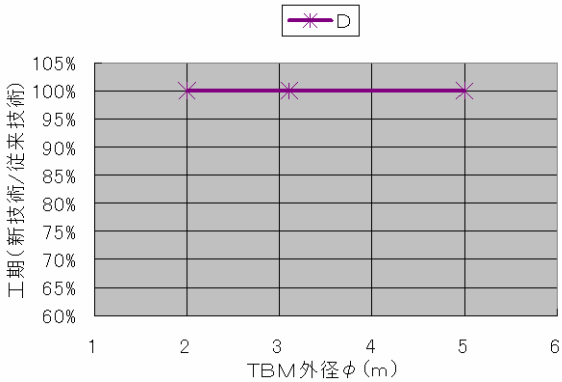
地山崩落防止対策として注入式フォアポーリングなどの補助工法を併用しながら TBM 掘進を行うと、施工速度の低下に伴う TBM 掘進稼働率の低下を招くため、全体工期が長くなり、不経済となる。したがって、地下調整池トンネルを TBM 掘削方式で施工する場合には、TBM 掘進稼働率向上によるコスト低減を図るため、不良地山に対しては積極的に鋼製ライナーを採用するものとした。なお、このとき使用する鋼製ライナーは、不良地山岩塊の小崩落に耐える程度の比較的簡易な構造とし、鋼製ライナーコストの低減を図るものとする。

(2) 簡易ライナー導入によるコスト低減･工期短縮効果

簡易ライナー導入効果について試算した結果、図 ４－９に示すように工期に対して影響は無いが、コスト低減効果は断面規模によらず得られることが確認された。



（a）コスト低減効果



（b）工期短縮効果

注）図中の D は、岩盤等級を表す。

図 ４－９　簡易ライナーの導入効果

４．３．５ 楕円ＴＢＭの採用

地下調整池トンネルを TBM 掘削方式にて計画する場合には、導水勾配により決まる高さ制限から通常の円形TBMでは調整池容量が不足する場合があるため、楕円TBMと円形TBMのコスト比較を行い、優位性が見られる場合には楕円 TBM を採用する。

【解説】

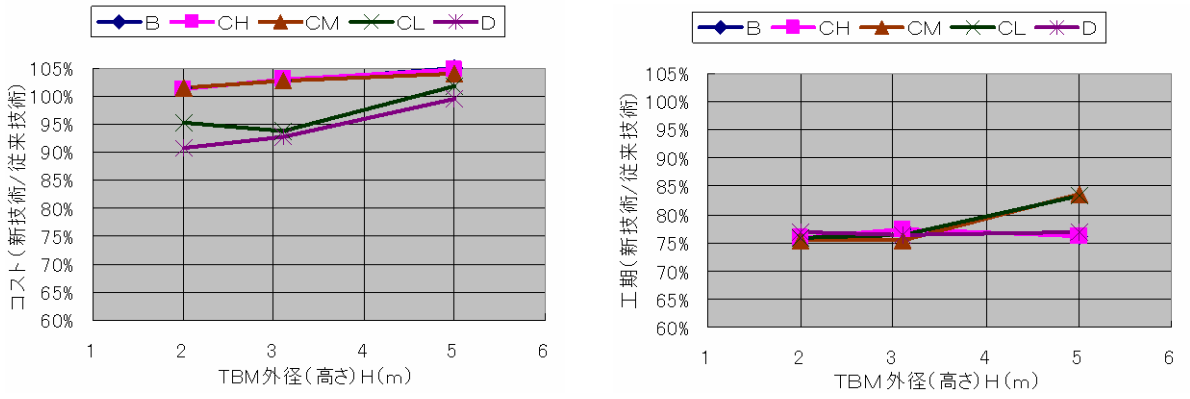
(1) 楕円 TBM について

楕円 TBM は試験施工段階であるため、実際に採用した事例は無いが、開発段階は実用レベルとなっていることから、コスト比較をして経済性の面で優位性が見られる場合には採用についても考慮することとした。

(2) 楕円 TBM 導入によるコスト低減効果

地下調整池トンネルでは上流側と下流側で高さが規定されてしまうため、トンネル形状を楕円形とすることで同じ延長の地下調整池であれば貯留容量を大きくすることが可能となる。そのため同じ貯留容量を確保する場合には円形 TBM よりもトンネル施工延長を短くすることが可能となる。したがって、楕円 TBM 導入によるマシンのコストアップ効果と、トンネル施工延長短縮によるコストダウン効果との差によってコスト低減効果が期待できる。

楕円 TBM の導入効果について試算した結果、図 ４－１０に示すように工期についてはすべての岩盤等級、断面規模にて低減効果が得られるが、コストについては岩盤等級や断面規模によるばらつきが大きく、地山条件や地下調整池規模によって効果の増減があるとの結果が得られた。



（a）コスト低減効果　　（b）工期短縮効果

注）図中の B，C_H，C_M，C_L，D は、岩盤等級を表す。

図 ４－１０　楕円 TBM の導入効果

４．３．６ シングルシェル技術

吹付けコンクリートを用いた永久覆工は、巻立てコンクリートによる覆工に比べて施工性、経済性の面で有利となるため、地下調整池トンネルでは吹付けコンクリートを用いた永久覆工（シングルシェル構造）を標準とする。

【解説】

(1) シングルシェルの定義

前述【４．２．６(1) シングルシェルの定義】参照。

(2) シングルシェルの適用理由

以下の理由により、シングルシェルを導入するものとした。

①『中小水力発電の新技術の手引 平成 5 年 1 月 （財）新エネルギー財団』において、小断面トンネル（内空幅 4.5m 未満程度）ではシングルシェルが既に標準化されている。

② 断面規模が大きく、かつ、発破掘削方式にて施工されている地下発電所や石油備蓄基地および導水路トンネルにおいても既に施工実績が見られる。

③ TBM 掘削では、地山に与える損傷が小さく、かつ、断面も円形で平滑であることから、無支保状態での地山およびトンネル断面の安定性が高い。

④ 地下調整池トンネル内は一般者の立ち入りが制限されるため、肌落ちや小規模な崩落が生じた場合であっても社会的な影響の問題は小さい。

⑤ 地下調整池で用いられるような運用状態（トンネル内の水位の日変動が大きい場合）における、水位変動に伴う水圧の変動に対する応力状況の変化については、高強度吹付けコンクリートの耐久性を検証し、シングルシェル構造の安全性を確認した。

(3) シングルシェル導入時の留意点

発破掘削工法における場合と同様に、TBM 掘進および内空変位等が吹付けコンクリートに与える影響を考慮し、内空変形が収束したことを確認した後に、二次支保として吹付けコンクリートによる仕上げライニングを行うことを標準とした。

なお、以下に示す条件下においては、別途巻立てコンクリートによる永久覆工も検討する必要がある。

1）脆弱な地山や、将来水による劣化が予想される地山、土被りが薄い坑口部のように将来土圧が変化すると予想される地山で、永久覆工に力学的機能が要求される場合。

2）寒冷地における坑口付近で、凍結融解による劣化が予想される場合。

3）施工時に高圧、多量の湧水によって、吹付けコンクリートの施工不良が見られる箇所や、過度に地山が緩んだ箇所。

第５章 工事費

５．１ 工事費と工期の算出について

地下調整池トンネルの計画段階で行う工事費および工期の算出については、必要となる地下調整池容量等からトンネル延長・トンネル断面形状を設定し、調査結果から得られたトンネル岩盤等級をもとに支保構造およびトンネル施工法を設定した上で、概算工事費および概算工期を算出するものとする。

【解説】

本章で記述するトンネルの工事費および工期は、『第 4 章 施工』で記載した各新技術導入によるコスト低減・工期短縮効果を適用することを前提とする。

地下調整池トンネルの工事費および工期を算出するためには、トンネル延長、トンネル断面規模、岩盤等級区分、支保構造、トンネル施工法を設定する必要がある。トンネル工事費や工期は、トンネル延長、トンネル断面規模、岩盤等級や支保構造、トンネル施工法によって大きく増減することから、できるだけ適切に評価することが望ましい。

しかしながら、計画段階では事前に得られている調査結果が少ないこと等から、工事費および工期の算出を簡便にするため、本マニュアルでは岩盤等級とトンネル断面規模に対応した標準支保パターンを、発破掘削工法および TBM 掘削工法に対してそれぞれ設定している。

したがって、極端に地山条件が悪い場合などを除き、本マニュアルに示した標準支保パターンを適用して工事費および工期を算出することを基本とする。

本マニュアルにおける標準支保パターンの適用範囲を下表に示す。

表 ５－１ 標準支保パターンの適用範囲

	発破掘削方式	TBM 掘削方式
岩盤等級	B 等級 C_H 等級 C_M 等級 C_L 等級 D 等級	
断面規模	内空幅 3.0m 以上 7.6m 以下	TBM 掘削径 2.0m 以上 6.2m 以下

なお、開発計画支援システム：『工事費算定システム』では、地下調整池トンネル工事費の他に以下の追加工事費を別途加算できるものである。

①調整池流量制御に必要となる費用

- 流量調整ゲート工事費（『発電計画工事費積算基準　（財）新エネルギー財団』等を参考とする。）
- 発電所制御システム改造費用（ゲート、ガイドベーン操作等）

②調整池トンネル工事費仮設費用等

・工事用道路

・工事用桟台

・ずり処分費

また、新規計画地点（導水路調整能力付加案）の場合については、地下調整池（導水路）工事費以外の発電所全体工事費を『発電計画工事費積算基準　（財）新エネルギー財団』等を参考に「工事費算定システム」に入力する。これにより、発電計画全体における kW 当たり建設単価、kWh 当たり建設単価を算出することにより、地下調整池式計画と流れ込み式計画との対比を行えるものとする。

５．２ 発破掘削工法による地下調整池トンネルの工事費と工期の設定

５．２．１ 発破掘削工法による地下調整池トンネルの工事費

発破掘削工法による地下調整池トンネルを計画する場合には、トンネル延長、岩盤等級、トンネル断面形状を設定し、トンネル支保構造やトンネル施工法等を設定した上で適切に概算工事費を算出する。

【解説】

地下調整池トンネルの計画段階において、発破掘削工法により地下調整池トンネルを構築する場合の工事費算出に際しては、以下に示す支保構造および施工機械の組合せを用いることを標準とする。

また、この標準支保パターンおよび標準的な施工機械の組合せを用いた場合の発破掘削工法による工事費算出には、添付資料の工事費算定システムを用いて簡易に概算工事費を算出することができる。（「開発計画支援システム：工事費算定システム」の詳細については、巻末資料１『地下調整池　開発計画支援システム　説明書』を参照）

(1) 標準支保パターン

発破掘削工法により地下調整池トンネルを計画する場合には、岩盤等級およびトンネル断面形状に対応した適切な支保構造を設定する必要がある。

ただし、地下調整池トンネルの計画段階では、詳細な地質調査等が行われていないことから、この段階での支保構造の設定は、岩盤等級およびトンネル断面規模に応じて以下に示す標準支保パターンを用いることを標準とする。

表 5－2　標準支保パターン表（発破掘削：内空幅 3.0m 以上 4.6m 未満）

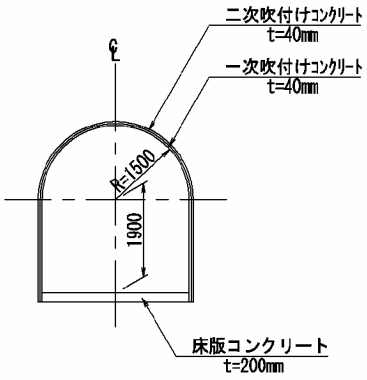
内空幅 3.0m以上 4.6m未満（発破掘削）								
岩盤等級	一発破進行長 m	ロックボルト			鋼製支保工		一次吹付け厚 cm	二次吹付け厚 cm
		長さ m	施工間隔		部材寸法	建込み間隔 m		
			周方向 m	延長方向 m				
B	5.0	－	－	－	－	－	4	4
C_H	5.0	－	－	－	－	－	4	4
C_M	2.5	1.5	2本	2.5	－	－	4	4
C_L～D	1.0	1.5	4本 (1.0) (天端)	1.0	H-100	1.0	6	4

注1）吹付けコンクリートは、高強度吹付けコンクリート（f_{ck}＝30N/mm^2）とする。
注2）ロックボルトは、天端部への打設を基本とし、C_M級については2本を標準とし、C_L～D級については4本（天端部、周方向1.0mピッチ）を標準とする。
注3）C_L～D級については、吹付けコンクリート内に金網を設置する。

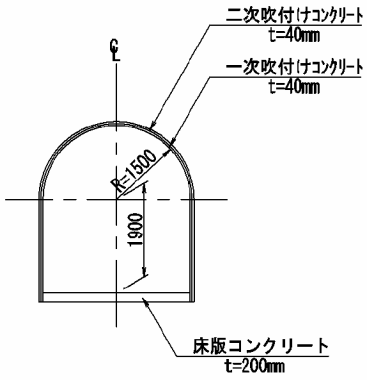
表 5－3　標準支保パターン表（発破掘削：内空幅 4.6m 以上 7.6m 未満）

内空幅 4.6m以上 7.6m未満（発破掘削）								
岩盤等級	一発破進行長 m	ロックボルト			鋼製支保工		一次吹付け厚 cm	二次吹付け厚 cm
		長さ m	施工間隔		部材寸法	建込み間隔 m		
			周方向 m	延長方向 m				
B	5.0	－	－	－	－	－	4	4
C_H	5.0	－	－	－	－	－	4	4
C_M	2.5	2.0	1.2	2.5	－	－	4	4
C_L～D	1.0	2.0	1.0	1.0	H-100	1.0	6	4

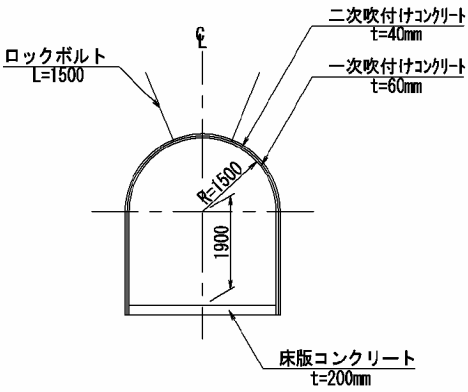
注1）吹付けコンクリートは、高強度吹付けコンクリート（f_{ck}＝30N/mm^2）とする。
注2）C_L～D級については、吹付けコンクリート内に金網を設置する。



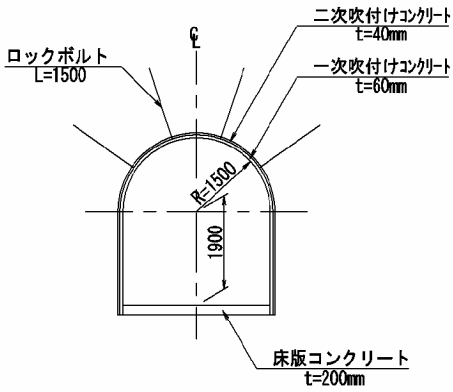
(a)岩盤等級 B（内空幅3.0m以上4.6m未満の場合（発破掘削））



(b)岩盤等級 C_H（内空幅3.0m以上4.6m未満の場合（発破掘削））



(c)岩盤等級 C_M（内空幅3.0m以上4.6m未満の場合（発破掘削））



(d)岩盤等級 C_L～D（内空幅3.0m以上4.6m未満の場合（発破掘削））

図 5－1 標準支保パターン図の例（発破掘削：内空幅 3.0m 以上 4.6m 未満の場合）

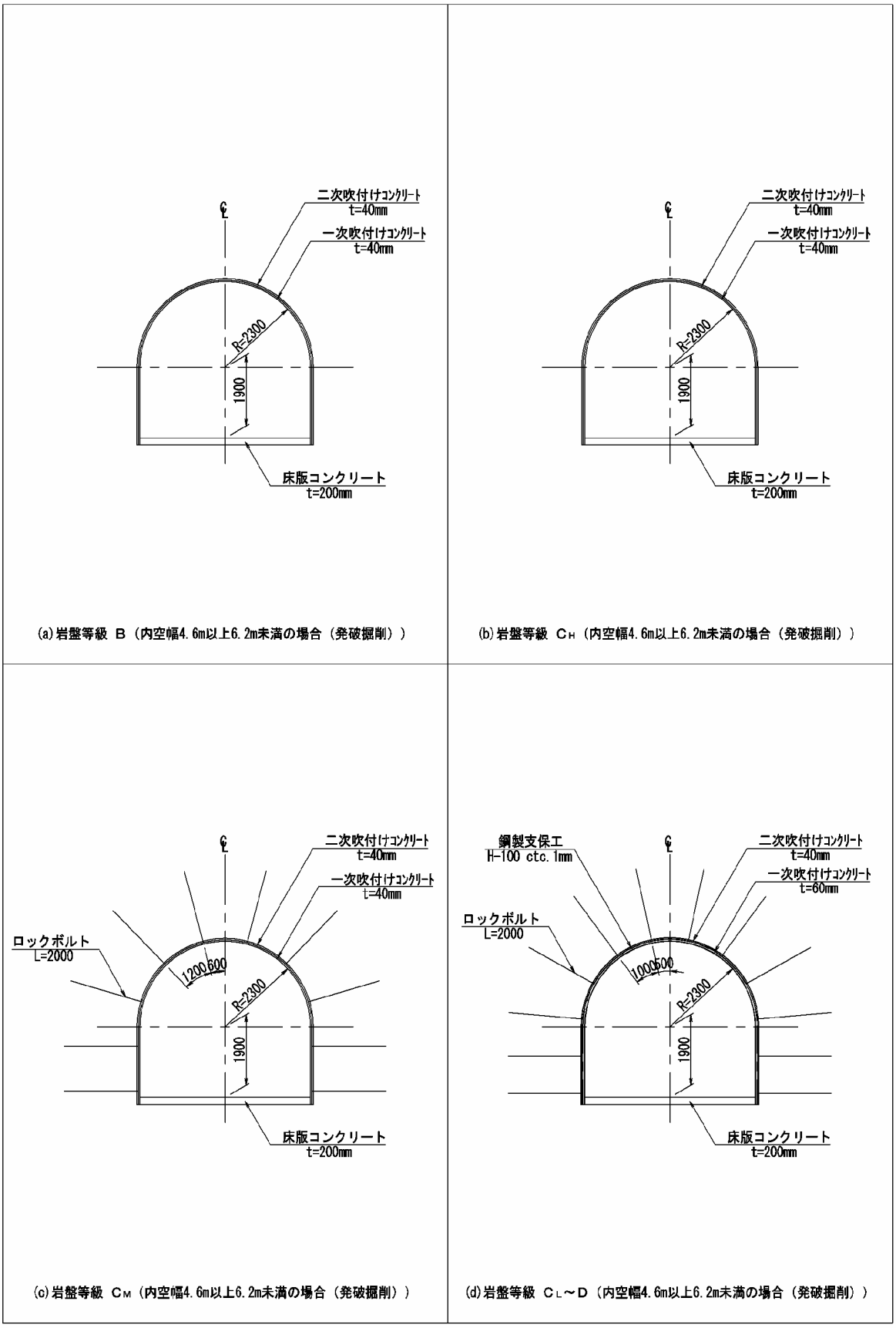


図 5－2　標準支保パターン図の例（発破掘削：内空幅 4.6m 以上 6.2m 未満の場合）

(2) 標準施工機械の組合せ

標準施工機械の組合せは、断面規模、施工法を考慮し、内空幅 6.2m 未満の地下調整池トンネルはレール方式を採用し、内空幅 6.2m 以上のトンネルはタイヤ方式を採用することを標準とする。

発破掘削工法におけるトンネル内空幅に応じた標準掘削機械の組合せを下表に示す。

表 5－4　標準掘削機械の組合せ（発破掘削工法）

断面規模	内空断面積	10～16 ㎡	16～30 ㎡	30 ㎡～
	内空幅	3.0m以上 4.5m未満	4.5m以上 6.2m未満	6.2m以上
削孔機械		レール走行式 2 ブーム油圧ジャンボ (ドリフタ重量 100kg 級) 牽引用バッテリー機関車 6t		ホイル式 2 ブーム油圧ジャンボ (ドリフタ重量 100kg 級)
ずり積機械		クローラ式 バックホウ型 ずり積機 (コンベア能力 150m³/h)		トンネル工事用 排出ガス対策型 サイドダンプ式 トラクタショベル （2.3m³ 級）
ずり搬出機械		バッテリー機関車 （12ｔ） シャトルカー （15～28m³ 級）		ダンプトラック （11t 積）
適用	レール式（単線）	←――→		
	レール式（複線）		←――→	
	タイヤ式			←――→

注 1）削孔機械およびずり積機械の台数は，1 台とする。

注 2）ずり搬出機械の台数は，掘削サイクルタイムに影響を与えないようにずり積込能力に合わせて適切に設定する必要がある。

注 3）せん孔に使用するドリルジャンボは，コンピュータ制御自動削孔対応機を標準とする。

５．２．２ 発破掘削工法による地下調整池トンネルの工期

発破掘削工法により地下調整池トンネルを計画する場合の工期の算出は、岩盤等級とトンネル断面規模に応じて設定されたサイクルタイム表を用いて、トンネル延長と地質状況を適切に評価した上で設定することを原則とする。

【解説】

工事工程の算出は、地下調整池トンネル計画地の地質状況を考慮し、トンネル区間の岩盤等級比率を設定した上で、岩盤等級とトンネル断面規模に応じたサイクルタイム表を使用して設定する。

(1) 工期の設定

発破掘削工法による地下調整池トンネル構築の標準的な工程は、下表のように設定する。

表 ５－５ 標準的な工期設定（発破掘削）

	標準工期	備考
準備工	3 ヶ月	注１）
掘削工期	トンネル延長÷1 箇月当り進行長により算出	注 2）
二次吹付け工	トンネル延長÷1 箇月当り進行長により算出	注 3）
後片付け	1 ヶ月	

注 1）工事用進入路整備、坑口付け、仮設備設置を含む。なお、新たに工事用道路を設ける必要がある場合には必要工期を別途計上する必要がある。

注 2）掘削工期に対する 1 箇月当り進行長は、サイクルタイム表により算出する。

注 3）二次吹付け工は、掘削終了（貫通）後に連続して行うことを基本とする。そのため、二次吹付け工の 1 箇月当り進行長はサイクルタイム表の吹付け時間の計算式を用いて掘削工期に対する 1 箇月当り進行長とは別に算出したものを使用する必要がある。

注 4）トンネル施工以外の諸設備設置等の工期は、設備規模に応じて別途計上する必要がある。

(2) サイクルタイム

発破掘削工法により地下調整池トンネルを標準支保パターンおよび標準施工機械の組合せに基づいて施工する場合のサイクルタイム表は、レール方式では表 ５－６を、タイヤ方式では表 ５－７を標準として用いるものとする。

表 5－6　サイクルタイム表（発破掘削･レール方式：内空幅 3.0m 以上 6.2m 未満対応）

項目	記号	単位	B	C_H	C_M	C_L～D	備考
掘削断面積（余掘り含まず）	A_1	m^2					小数第二位四捨五入
掘削断面積（余掘り含む）	A_2	m^2					小数第二位四捨五入
1発破進行長	B	m	5.0	5.0	2.5	1.0	B～C_Mは長孔発破
変化率	L	－	1.85	1.70	1.60	1.50	
m2当り穿孔数	C	m^2	3.7	3.4	3.0	1.9	長孔発破、爆薬技術対応
穿孔長	D	m	B＋0.2		B＋0.1		
削岩機使用台数	E	台	2	2	2	2	
のみ下がり速度	F	m/min	1.1	1.3	1.4	1.7	コンピュータ制御自動削孔
削岩機1台当り穿孔数	G	孔	A_1×C÷E				小数第一位四捨五入
シャトルカー積載量	H	m^3					
1発破当りシャトルカー台数	I	台	A_2×B×L÷H				小数第一位四捨五入
ずり積み能力	Qs	m^3/h	34.0	34.0	34.0	34.0	
吹付け周長	M_1	m					
1サイクル当り吹付け面積	M	m^2	M_1×B				
吹付け設計厚さ	N_1	m	0.00	0.04	0.04	0.06	
余吹き厚さ	N_2	m	0.00	0.00	0.00	0.00	シングルシェル対応
吹付け跳ね返り係数	K	－	1.24	1.24	1.24	1.24	高強度吹付け対応
1サイクル当りロックボルト本数	P_1	本					ボルト長 1～2m
穿孔時間		min	D×G÷F				
削岩機移動時間		min	G×1.0				
積み込み時間		min	A_2×B÷Qs×60				
列車入れ替え時間		min	(I－1)×5				
吹付け時間	R	min	M×(N_1＋N_2)×K×60/6＋30				
支保工建込	S	min	0	0	0	20	
ロックボルト工	T_1	min	P_1×3.6＋20				
金網工	T_2	min	0	0	0	20	
レール設置時間	U	min	30	30	20	15	
サイクルタイム固定分		min	105	115	135	140	
計	Q	min					
掘削サイクルタイム		min	Q－(R＋S＋T_1＋T_2＋U)				
1箇月当り進行長		m/月	540×B×2×23÷Q				

表 5－7　サイクルタイム表（発破掘削･タイヤ方式：内空幅 6.2m 以上 7.6m 以下対応）

項目	記号	単位	B	C_H	C_M	C_L～D	備考
掘削断面積（余掘り含まず）	A_1	m^2					小数第二位四捨五入
掘削断面積（余掘り含む）	A_2	m^2					小数第二位四捨五入
1発破進行長	B	m	5.0	5.0	2.5	1.0	B～C_Mは長孔発破
変化率	L	－	1.85	1.70	1.60	1.50	
m2当り穿孔数	C	m^2	3.7	3.4	3.0	1.9	長孔発破、爆薬技術対応
穿孔長	D	m	B＋0.2		B＋0.1		
削岩機使用台数	E	台	2	2	2	2	
のみ下がり速度	F	m/min	1.1	1.3	1.4	1.7	コンピュータ制御自動削孔
削岩機1台当り穿孔数	G	孔	A_1×C÷E				小数第一位四捨五入
ダンプトラック積載量	H	m^3	7.8	7.5	7.3	7.2	
ずり積み能力	Qs	m^3/h	64.4	64.4	64.4	64.4	
吹付け周長	M_1	m					
1サイクル当り吹付け面積	M	m^2	M_1×B				
吹付け設計厚さ	N_1	m	0.00	0.04	0.04	0.06	
余吹き厚さ	N_2	m	0.00	0.00	0.00	0.00	シングルシェル対応
吹付け跳ね返り係数	K	－	1.24	1.24	1.24	1.24	高強度吹付け対応
1サイクル当りロックボルト本数	P_1	本					ボルト長 1～2m
穿孔時間		min	D×G÷F				
削岩機移動時間		min	G×1.0				
積み込み時間		min	A_2×B÷Qs×60				
吹付け時間	R	min	M×（N_1＋N_2）×K×60/6＋30				
支保工建込	S	min	0	0	0	20	
ロックボルト工	T_1	min	P_1×3.6＋20				
金網工	T_2	min	0	0	0	20	
サイクルタイム固定分		min	105	115	135	140	
計	Q	min					
掘削サイクルタイム		min	Q－（R＋S＋T_1＋T_2＋U）				
1箇月当り進行長		m/月	540×B×2×23÷Q				

（参考）1 箇月作業日数と作業時間

工事費および工期を算出する上での、発破掘削工法により地下調整池トンネルを施工する場合の 1 ヶ月の作業日数は、平均 23 日とする。

また、作業別の 1 日の作業方数および労働時間は、下表を標準とする。ただし、環境問題等で作業時間に制約がある場合などは、現地の条件に応じて変更するものとする。

表 5－8　作業別の作業方数と労働時間（発破掘削）

作業内容	作業方数	1 方当りの実働時間	1 方当りの実作業時間
1）坑外仮設、撤去等坑外一般 2）トンネル掘削、覆工作業完了後のインバート掘削等 3）坑門工関係	1 方 （昼間施工）	8 時間	7 時間
4）坑内コンクリート関連作業 5）坑内仮設、保守等	1 方 （昼間施工）	10 時間	9 時間
6）坑内掘削及びこれに関連する作業、機械運転保守等 7）トンネル掘削と併行作業のインバート掘削等	2 方 （昼夜施工）	10 時間	9 時間

５．３ ＴＢＭ掘削工法による地下調整池トンネルの工事費と工期の設定

５．３．１ ＴＢＭ掘削工法による地下調整池トンネルの工事費

TBM 掘削工法による地下調整池トンネルを計画する場合には、トンネル延長、岩盤等級、トンネル断面形状を設定し、トンネル支保構造や施工設備等を設定した上で、適切に概算工事費を算出する。

【解説】

地下調整池トンネルの計画段階において、TBM 掘削工法により地下調整池トンネルを構築する場合の工事費算出に際しては、以下に示す支保構造および施工機械の組合せを用いることを標準とする。

また、この標準支保パターンおよび標準的な施工機械の組合せを用いた場合の TBM 掘削工法による工事費算出には、添付資料の工事費算定システムを用いて簡易に概算工事費を算出することができる。（工事費算定システムの詳細については、巻末資料 1『地下調整池　開発計画支援システム　説明書』を参照）

(1) 標準支保パターン

TBM 掘削工法により地下調整池トンネルを計画する場合には、岩盤等級およびトンネル断面形状に対応した適切な支保構造を設定する必要がある。

ただし、地下調整池トンネルの計画段階では、詳細な地質調査等が行われていないことから、この段階での支保構造の設定は、岩盤等級およびトンネル断面規模に応じて以下に示す標準支保パターンを用いることを標準とする。

表 ５－９　標準支保パターン表（TBM 掘削：TBM 掘削径 2.0m～2.3m）

掘削径 2.0m ～ 2.3m（ＴＢＭ）						
岩盤等級	一サイクル進行長 m	一次吹付け		簡易ライナー		二次吹付け厚 cm
		厚さ cm	周方向 m	鋼製ライナー	建込間隔 m	
B	1.5	－	－	－	－	4
C_H	1.5	－	－	－	－	4
C_M	1.5	－	－	－	－	4
C_L	1.0	－	－	鋼製支保工（リング支保工）（H-100）	1.0	4
D	0.5	－	－	鋼製ライナー	0.5	4

注1）一次吹付けは、繊維補強高強度吹付けモルタル（f_{ck}＝30N/mm^2）とする。

注2）二次吹付けは、繊維補強高強度吹付けコンクリート（f_{ck}＝30N/mm^2）とする。

表 ５－１０　標準支保パターン表（TBM 掘削：TBM 掘削径 2.3m～6.2m）

掘削径 2.3m ～ 6.2m（TBM）						
岩盤等級	一サイクル進行長 m	一次吹付け		鋼製支保工等		二次吹付け厚 cm
		厚さ cm	周方向 m	支保構造	建込間隔 m	
B	1.5	―	―	―	―	4
C_H	1.5	―	―	―	―	4
C_M	1.5	2	天端180°範囲	―	―	4
C_L	1.0	3	天端180°範囲	鋼製支保工（リング支保工）（H-100）	1.0	4
D	0.5	―	―	鋼製ライナー	0.5	4

注1）一次吹付けは、繊維補強高強度吹付けモルタル（f_{ck}＝30N/mm^2）とする。

注2）二次吹付けは、繊維補強高強度吹付けコンクリート（f_{ck}＝30N/mm^2）とする。

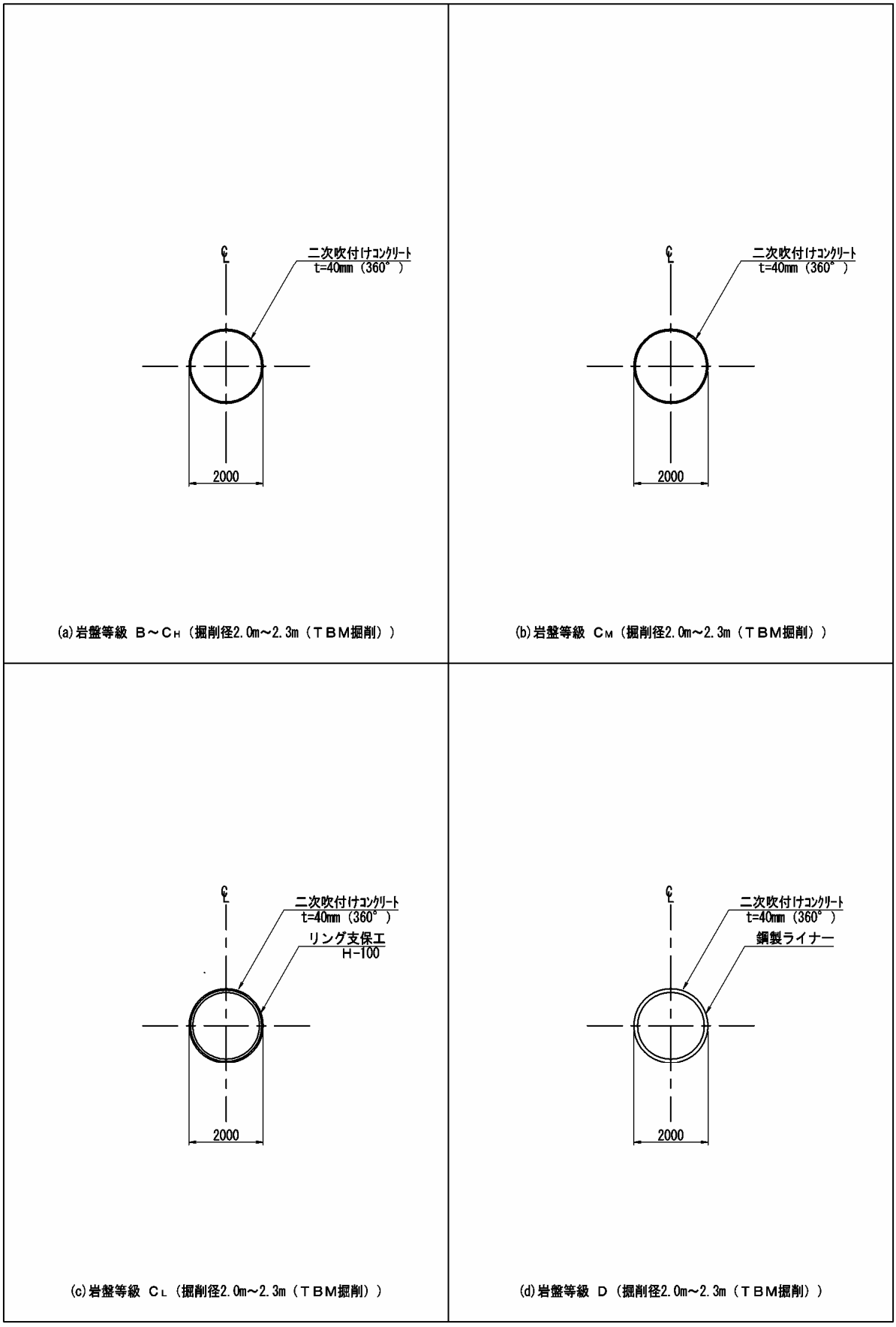
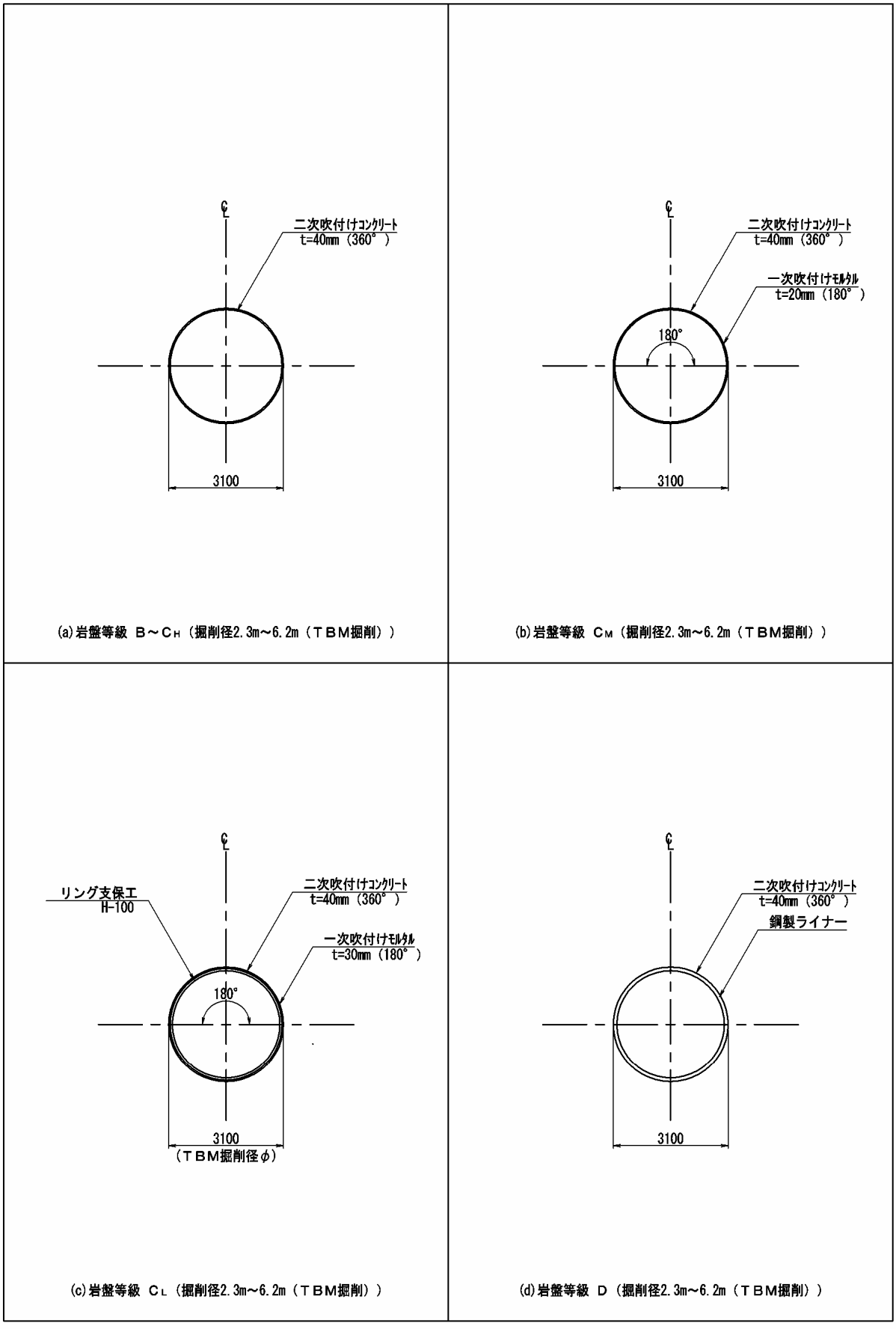


図 ５－３　標準支保パターン図の例（TBM 掘削：TBM 掘削径 2.0m～2.3m の場合）



(a)岩盤等級 B～C_H（掘削径2.3m～6.2m（ＴＢＭ掘削））

(b)岩盤等級 C_M（掘削径2.3m～6.2m（ＴＢＭ掘削））

(c)岩盤等級 C_L（掘削径2.3m～6.2m（ＴＢＭ掘削））

(d)岩盤等級 D（掘削径2.3m～6.2m（ＴＢＭ掘削））

図 ５－４　標準支保パターン図の例（TBM 掘削：TBM 掘削径 2.3m～6.2m の場合）

(2) 標準施工機械の組合せ

標準施工機械の組合せは、断面規模に応じて、下表によるものとする。なお、楕円 TBM を用いる場合には、楕円 TBM の掘削高さが下表の TBM 掘削径に対応するものとする。

表 5－11　標準掘削機械の組合せ（TBM 掘削工法）

	掘削		ずり搬出	
	機種・規格	台数	機械	台数
φ2.0～2.3m 級	シールド型 TBM （設備動力 250kW）	1	流体輸送設備	1 式
φ2.3～3.1m 級	シールド型 TBM （設備動力 600kW）	1	バッテリー機関車（12ｔ）、または シャトルカー（7.5～28m³級）	注）
φ3.1～6.2m 級	シールド型 TBM （設備動力 1100kW）	1	バッテリー機関車（12ｔ）、または シャトルカー（7.5～28m³級）	注）

注）ずり搬出機械の台数は、掘削サイクルタイムに影響を与えないようにずり積込能力に合わせて適切に設定する必要がある。

５．３．２

５．３．３ ＴＢＭ掘削工法による地下調整池トンネルの工期

TBM 掘削工法により地下調整池トンネルを計画する場合の工期の算出は、岩盤等級とトンネル断面規模に応じて設定されたサイクルタイム表を用いて、トンネル延長と地質状況を適切に評価した上で設定することを原則とする。

【解説】

工事工程の算出は、地下調整池トンネル計画地の地質状況を考慮し、トンネル区間の岩盤等級比率を設定した上で、岩盤等級とトンネル断面規模に応じたサイクルタイム表を使用して設定する。

(1) 工期の設定

TBM 掘削工法による地下調整池トンネル構築の標準的な工程は、下表のように設定する。

表 ５－１２ 標準的な工期設定（TBM 掘削）

	標準工期	備考
準備工	１ヶ月	
TBM 設計･製作 仮設備工	6 ヶ月	注１）
TBM 搬入･組立･発進準備	2 ヶ月	
掘削工期	トンネル延長÷1 箇月当り進行長により算出	注 2）
TBM 解体･搬出	1.5 ヶ月	注 3）
二次吹付け工	トンネル延長÷1 箇月当り進行長により算出	注 4）
後片付け	1 ヶ月	

注 1）工事用進入路整備、坑口付け、仮設備設置を含む。

注 2）掘削工期に対する 1 箇月当り進行長は、サイクルタイム表により算出する。

注 3）出口側から TBM 解体･搬出が可能であり、TBM 解体･搬出作業と二次吹付け工が同時に行える場合には、TBM 解体･搬出工期は計上しない。

注 4）二次吹付け工は、掘削終了（貫通）後に連続して行うことを基本とする。そのため、二次吹付け工の 1 箇月当り進行長はサイクルタイム表の吹付け時間の計算式を用いて掘削工期に対する 1 箇月当り進行長とは別に算出したものを使用する必要がある。

注 5）トンネル施工以外の諸設備設置等の工期は、設備規模に応じて別途計上する必要がある。

(2) サイクルタイム

TBM 掘削工法により地下調整池トンネルを標準支保パターンおよび標準施工機械の組合せに基づいて施工する場合のサイクルタイム表は、TBM 掘削径に応じて表 ５－１３～表 ５－１５を標準として用いるものとする。

表 ５－１３　サイクルタイム表（TBM 掘削：TBM 掘削径φ2.0m～2.3m）

項目	記号	単位	B	C_H	C_M	C_L	D	備考
1ストローク長	A	m	1.5	1.5	1.5	1.0	0.5	
純掘進速度	B	m/hr	2.4	2.4	3.1	3.1	2.9	
吹付け周長	C	m					－	
吹付け設計厚さ	D	m					－	
純掘削時間	E	min	A÷B×60					
測量･位置修正およびグリッパー盛替	F	min	13	13	13	13	13	
小計（TBM運転時間）	G	min	E＋F					
支保工組立	H	min	0	0	0	25	25	
ファイバーモルタル吹付け	I	min	A×C×D ×1.1×60/0.9＋10			A×C×D ×1.1×60/0.9		
中計（TBM掘進サイクルタイム）	J	min	G＋H＋I					
交換･延伸･その他	K	min	41	41	36	42	42	
計（全体サイクルタイム）	L	min	J＋K					
1日当りストローク回数	M	回/日	540×2÷L					
1日当り進行長	N	m/日	M×A					
1箇月当り進行長	O	m/月	N×23					

表 5－14　サイクルタイム表（TBM 掘削：TBM 掘削径φ2.3m～3.1m）

項目	記号	単位	B	C_H	C_M	C_L	D	備考
1ストローク長	A	m	1.5	1.5	1.5	1.0	0.5	
純掘進速度	B	m/hr	2.4	2.4	3.1	3.1	2.9	
吹付け周長	C	m					－	
吹付け設計厚さ	D	m					－	
純掘削時間	E	min	A÷B×60					
測量･位置修正およびグリッパー盛替	F	min	13	13	13	13	13	
小計（TBM運転時間）	G	min	E＋F					
支保工組立	H	min	0	0	0	25	25	
ファイバーモルタル吹付け	I	min	A×C×D ×1.1×60/0.9＋10			A×C×D ×1.1×60/0.9		
中計（TBM掘進サイクルタイム）	J	min	G＋H＋I					
延伸･その他	K	min	33	33	28	37	39	
1ストローク当り積み込みロス	P	min	5	5	5	5	0	
1ストローク当りカッター交換時間	Q	min	2	2	2	1	1	
計（全体サイクルタイム）	L	min	J＋K＋P＋Q					
1日当りストローク回数	M	回/日	540×2÷L					
1日当り進行長	N	m/日	M×A					
1箇月当り進行長	O	m/月	N×23					

表 5－15　サイクルタイム表（TBM 掘削：TBM 掘削径φ3.1m～6.2m）

項目	記号	単位	B	C_H	C_M	C_L	D	備考
1ストローク長	A	m	1.5	1.5	1.5	1.0	0.5	
純掘進速度	B	m/hr	2.4	2.4	3.1	3.1	2.9	
吹付け周長	C	m					－	
吹付け設計厚さ	D	m					－	
純掘削時間	E	min	A÷B×60					
測量･位置修正およびグリッパー盛替	F	min	13	13	13	13	13	
小計（TBM運転時間）	G	min	E＋F					
支保工組立	H	min	0	0	0	25	25	
ファイバーモルタル吹付け	I	min	A×C×D ×1.1×60/0.9＋10			A×C×D ×1.1×60/0.9		
中計（TBM掘進サイクルタイム）	J	min	G＋H＋I					
延伸･その他	K	min	33	33	28	37	39	
1ストローク当り積み込みロス	P	min	5	5	5	5	0	
1ストローク当りカッター交換時間	Q	min	6	6	5	3	3	
計（全体サイクルタイム）	L	min	J＋K＋P＋Q					
1日当りストローク回数	M	回/日	540×2÷L					
1日当り進行長	N	m/日	M×A					
1箇月当り進行長	O	m/月	N×23					

（参考）1 箇月作業日数と作業時間

工事費および工期を算出する上での、TBM 掘削工法により地下調整池トンネルを施工する場合の 1 ヶ月の作業日数は、平均 23 日とする。

また、作業別の 1 日の作業方数および労働時間は、下表を標準とする。ただし、環境問題等で作業時間に制約がある場合などは、現地の条件に応じて変更するものとする。

表 5－16　作業別の作業方数と労働時間（TBM 掘削）

作業内容	作業方数	1 方当りの実働時間	1 方当りの実作業時間
1）坑外仮設、撤去等坑外一般 2）坑門工関係	1 方 （昼間施工）	8 時間	7 時間
3）坑内コンクリート関連作業 4）坑内仮設、保守等	1 方 （昼間施工）	10 時間	9 時間
5）坑内掘削及びこれに関連する作業、機械運転保守等	2 方 （昼夜施工）	10 時間	9 時間

第６章 経済性評価

６．１ 経済性評価手法

本マニュアルでは、地下調整池構築に対する経済性の評価を(1)Ｃ／Ｖ指標、(2)発電原価指標、(3)電力量時間帯シフトによる効果指標で行うこととする。

また、新規計画地点（導水路調整能力付加案）の場合には、地下調整池（導水路）工事費以外の発電所全体工事費を入力することにより、発電計画全体におけるＣ／Ｖ、ｋＷ当たり建設単価、ｋＷｈ当たり建設単価を算出することにより、地下調整池式計画と流れ込み式計画との対比を行えるものとする。

【解説】

地下調整池構築に対する経済性の評価の目的、方法、条件等は、各事業者により異なるものと考えられる。

しかしながら、本マニュアルでは、(1)Ｃ／Ｖ指標、(2)発電原価指標、(3)電力量時間帯シフトによる効果指標で行うものとした。

ただし、上記指標を算定する年経費率や各種単価等の条件については、事業者が任意に設定できるものとする。

(1) Ｃ／Ｖ指標による評価

本手法は、地下調整池によるピーク時の出力増の効果をｋＷ価値として高く評価するものである。

地下調整池の計画が、それと同等の電力を供給する水力以外の代替電源、主として大規模石油火力との比較で経済性を評価しようという手法であり、まず基準となる代替電源を想定し、計画地点が受け持つ負荷をこの代替電源（基準火力）で代替した場合の年経費を算出し、この値を当該計画地点の便益（Ｖ）とする。

便益（Ｖ）は、基準火力の年経費を固定費と可変費に区分して以下のとおり算出する。

便益（Ｖ）＝ｋＷ価値（水力の有効出力×基準火力のｋＷ当たり固定費）
＋ｋＷｈ価値（水力の有効電力量×基準火力のｋＷｈ当たり可変費）

一方、地下調整池計画に関わる費用（年経費）（Ｃ）を計算し、費用（Ｃ）と便益（Ｖ）との比較を行う。

算出した費用（Ｃ）と便益（Ｖ）との比、すなわちＣ／Ｖ≦1 であれば基準火力に対して地下調整池計画が等価ないしは優れた経済性を有していることになり、Ｃ／Ｖ＞1 ならば基準火力より経済性が劣るという判断になる。

本マニュアルでは、地下調整池を構築することによる便益を有効出力増分、有効電力量増分により算出する。費用（Ｃ）は、地下調整池構築に関わる年経費で算出する。

具体的に、費用（Ｃ）と便益（Ｖ）は、以下のとおり算出、評価する。

a 費用（C）の算出

費用（C）は、地下調整池工事費（調整池流量制御に必要となる費用、調整池トンネル工事費仮設費用等含む）に年経費率を乗じて算定する。

費用（C）＝地下調整池工事費×年経費率(%)

b 便益（V）の算出

便益（V）は、kW 価値と kWh 価値の合計値として算定する。

①kW 価値

有効出力増分(kW)＝8 月 L5 流量時出力増分(kW)×発電所利用率(%)

kW 価値＝有効出力増分(kW)×kW 単価(円/kW)

②kWh 価値

有効電力量増分(kWh)＝発電電力量増分(kWh)×発電所利用率(%)

kWh 価値＝有効電力量増分(kWh)×kWh 単価(円/kWh)

便益(V)＝kW 価値＋kWh 価値

なお、本方法による評価では、自流運転に対する有効出力の増分ならびに有効電力量の増分は、kW 優先運転①・②、kWh 優先運転のうちで最大となるものを適用する。

これは、日々の運転制御において kW 優先運転と kWh 優先運転の切り替えが可能であることから、それぞれの最大増分を用いることで、地下調整池構築による便益を最大限考慮する。

c 評価方法

C／V値による評価は、以下のとおりとなる。

C／V＞1……経済性が劣る。

C／V≦1……経済性が優れている。

d 評価条件

評価を行うための以下の諸数値は、事業者が任意に設定する。

①年経費率（%）

……地下調整池工事費から、年経費を算出するための年経費率。[資本費（減価償却費、金固定資産税)、直接費（人件費、修繕費、その他経費)、間接費（一般管理費）等の水力発電所を運営するための経費。耐用年数に応じた均等化経費を算出したものが年経費となる。]

年経費率＝均等化経費／建設費

②kW単価（円/kW)

③kWh単価（円/kWh)

④発電所利用率（%）

有効出力増分(kW)、有効電力量増分(MWh)を算出するために乗じる比率（発電所の停止率を控除した比率)。

e C／V指標による評価例

C／V指標による評価例を以下に示す。

表 6－1 C／V指標による評価例

地点名	ﾋﾟｰｸ継続時間(h)	有効出力増分 *1(kW)	有効電力量増分 *2(MWh)	地下調整池工事費(百万円)	年経費率(%)	ｺｽﾄ(百万円)	kW価値 *3(百万円)	kWh価値 *4(百万円)	便益(百万円)	評価
	T	P	A	M	D	C=M×D	B1	B2	V=B1+B2	C/V
A地点	4.0	17,664	4,545	2,369	10.6	251.11	580.52	55.45	635.97	0.39

*1) 有効出力増分(kW)＝8月L5流量時出力増分(kW)×発電所利用率95.6(%)
*2)有効電力量増分(MWh)＝発電電力量増分(MWh)×発電所利用率95.6(%)
*3)kW価値B1＝32,864（円/kW） [kW単価：設定値] ×有効出力増分P(kW)
*4)kWh価値B2＝12.2（円/kWh） [kWh単価：設定値] ×有効電力量増分A(kWh)

(2) 発電原価指標による評価

本手法は、地下調整池構築によるピーク時出力増の効果を、電力取引自由化対象である特定規模需要の電力取引予想価額（取引単価）から評価するものである。

具体的には、計画する地下調整池の調整効果の及ぶ発電所（群）の全発電電力量を特定規模需要の電気使用者に売電すると想定し、特定規模需要としての予想取引単価から現行の取引（売電）単価を差し引いた金額（増収単価）と、地下調整池を付加することによる発電原価増分（コストの増分単価）を比較して、発電原価増分（コストの増分単価）が小さい場合は、地下調整池の開発効果が期待できる。

a 発電原価増分の算出

発電原価の増分は、地下調整池工事費（調整池流量制御に必要となる費用、調整池トンネル工事費仮設費用含む）に年経費率を乗じて、地下調整池構築後の年間発電電力量で除した値とする。

発電原価増分(円/kWh)＝地下調整池工事費(円) ×年経費率(%)
／地下調整池構築後の年間発電電力量(kWh)

※（厳密には、発電電力量増加の効果は、地下調整池構築前後で変化しないコストによる発電原価部分まで及ぶため、発電原価の増分は上式より小さくなるものと考えられるが、簡便的に上式を発電原価の増分とする。）

なお、本評価における年間発電電力量は、日々の運転制御において kW 優先運転と kWh 優先運転の切り替えが可能であることから、地下調整池構築後の kWh 優先運転時の年間発電電力量を用いることとする。

b 増収単価

特定規模需要としての予想取引単価から現行の取引（売電）単価を差し引いた金額を増収単価として考える。

c 評価方法

発電原価指標による評価は、以下のとおりとなる。

① 増収単価
＝特定規模需要予想取引単価(円/kWh)－現行取引（売電）単価(円/kWh)
② コストの増分単価 ＝発電原価増分（円/kWh）

増収単価 ≧ コストの増分単価・・・・・・開発効果が期待できる。
増収単価 ＜ コストの増分単価・・・・・・開発効果が期待できない。

d 評価条件

評価を行うための以下の諸数値は、事業者が任意に設定する。

①年経費率（%）
・・・・・・地下調整池工事費から、年経費を算出するための年経費率。［資本費（減価償却費、金固定資産税）、直接費（人件費、修繕費、その他経費）、間接費（一般管理費）等の水力発電所を運営するための経費。耐用年数に応じた均等化経費を算出したものが年経費となる。］
年経費率＝均等化経費／建設費
②特定規模需要予想取引単価（円/kWh）
・・・・・・特定規模需要予想取引単価として、PPS 取引単価等、ピーク時出力増の付加価値を考慮して、今後売電単価として期待できる単価を設定する。
③現行取引（売電）単価（円/kWh）
・・・・・・流れ込み式運転時の現行の取引（売電）単価を設定する。

e 発電原価指標による評価例

発電原価指標による評価例を以下に示す。

増収単価
＝PPS 取引単価 (12.00 円/kWh)－現行取引（売電）単価(8.00 円/kWh)＝4.00 円/kWh

コストの増分単価 ＝ 発電原価増分 ＝ 1.10 円/kWh
増収単価 ≧ コストの増分単価・・・・・開発効果が期待できる。

表 6－2 発電原価指標による評価例

地点名	ﾋﾟｰｸ継続時間(h)	年間発電電力量(MWh)	地下調整池工事費(百万円)	年経費率(%)	発電原価増分*1(円/kWh)	PPS取引単価*2(円/kWh)	現行取引(売電)単価*3(円/kWh)	増収単価(円/kWh)
	T	A	M	D	ΔC	BPPS	BN	ΔV
A地点	4.0	228,531	2,369	10.6	1.10	12.00	8.00	4.00

*1)発電原価増分ΔC(円/kWh)＝地下調整池工事費M(百万円)×年経費率D(%)／年間発電電力量A(kWh)
*2)PPS取引単価BPPS＝12.00(円/kWh)（託送料を控除した値） [設定値]
*3)現行取引（売電）単価BN＝8.00(円/kWh) [設定値]

(3) 電力量時間帯シフトによる効果

地下調整池による調整運転の結果、発電電力量がオフピーク時間帯からピーク時間帯に移行される。本手法は、電力取引市場の電力量取引単価のように、時間帯別に評価単価に差が認められる場合を想定し、地下調整池によるピーク時間帯発電電力量増加の効果を、時間帯別評価単価の差分によって評価する。

具体的には、地下調整池による調整運転時の年間便益から流れ込み式運転時の年間便益を差し引いた電力量時間帯シフトによる増分年間便益（ΔV）を、地下調整池を構築することにより生ずる増分年経費（ΔC）で除して、年間の効果を算定するものである。

a 増分年経費（ΔC）の算出

増分年経費（ΔC）は、地下調整池工事費（調整池流量制御に必要となる費用、調整池トンネル工事費仮設費用等含む）に年経費率を乗じて算定する。

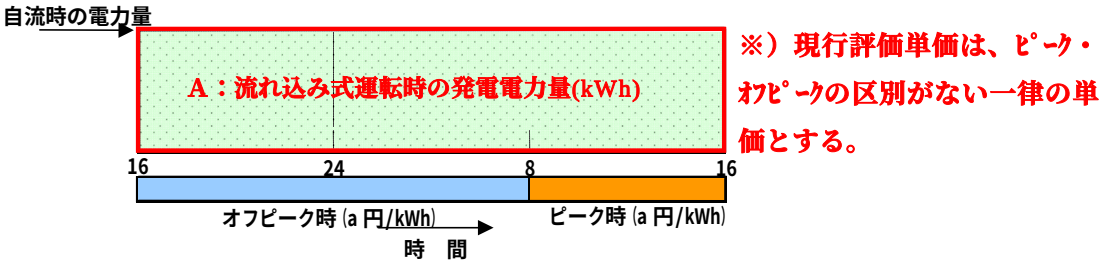
増分年経費（ΔC）＝地下調整池工事費×年経費率(%)

b　電力量時間帯シフトによる増分年間便益（ΔＶ）の算出

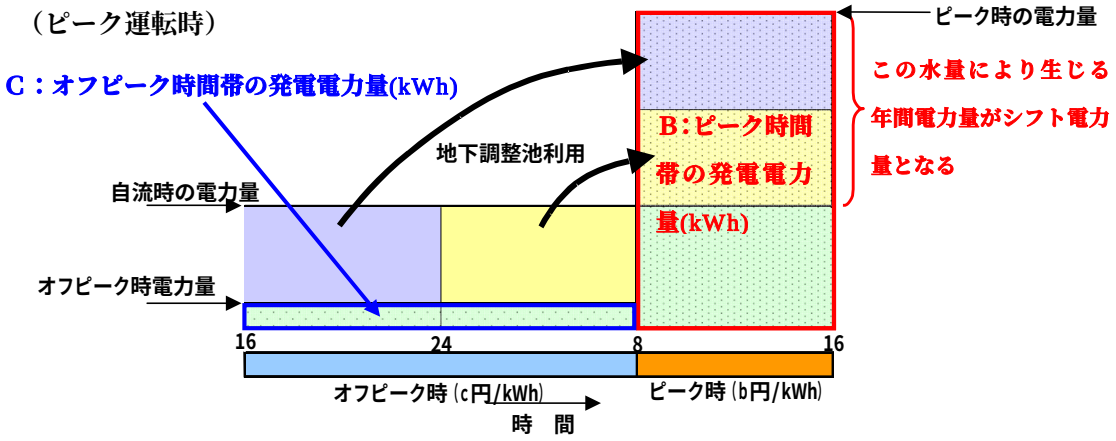
電力量時間帯シフトによる効果は、以下のとおり算出する。

電力量時間帯シフトによる増分年間便益ΔＶ(円)
＝｛ピーク時間帯発電電力量(kWh)×ピーク時評価単価(円/kWh)
＋オフピーク時間帯発電電力量(kWh)×オフピーク時評価単価(円/kWh)｝
－｛流れ込み式運転時の発電電力量(kWh)×現行評価単価(円/kWh)｝

（流れ込み式運転時）



（ピーク運転時）



電力量時間帯シフトによる増分年間便益ΔＶ（円）
＝｛Ｂ(kWh)×ｂ(円/kWh)＋Ｃ(kWh)×ｃ(円/kWh)｝　－　｛Ａ(kWh)×ａ(円/kWh)｝

図６－１　シフト電力量模式図（ピーク時間を８時間とした場合の一例）

なお、シリーズ発電所の場合で、地下調整池を有する上流発電所のピーク時間に対して、下流発電所のピークに遅れが生じる場合には、この遅れ時間を考慮した計算を行うこととする。

また、本評価における地下調整池構築後のピーク時間帯およびオフピーク時間帯発電電力量(kWh)は、ピークシフト効果を最大とする運転を前提としているため、kW 優先運転①の年間発電電力量により算出することとする。

c 評価方法

評価は、以下のとおりとなる。

ΔＣ／ΔＶ＞１・・・・・・経済性が劣る。

ΔＣ／ΔＶ≦１・・・・・・経済性が優れている。

d 評価条件

評価を行うための以下の諸数値は、事業者が任意に設定する。

①現行評価単価（円/kWh)

②ピーク時評価単価（円/kWh)、

③オフピーク時評価単価（円/kWh)

④年経費率（％）

・・・・・・地下調整池工事費から、年経費を算出するための年経費率。[資本費（減価償却費、金固定資産税)、直接費（人件費、修繕費、その他経費)、間接費（一般管理費）等の水力発電所を運営するための経費。耐用年数に応じた均等化経費を算出したものが年経費となる。]

年経費率＝均等化経費／建設費

e 電力量時間帯シフトによる評価例

電力量時間帯シフトによる評価例を以下に示す。

表 ６－３ 電力量時間帯シフトによる評価例

地点名	ﾋﾟｰｸ継続時間(h)	地下調整池工事費(百万円)	年経費率(%)	ｺｽﾄ(百万円)	流れ込み式運転時電力量(MWh)	ﾋﾟｰｸ運転時間帯発電電力量(MWh)	ｵﾌﾋﾟｰｸ運転時間帯発電電力量(MWh)	現行評価単価*1(円/kWh)	ﾋﾟｰｸ時評価単価*2(円/kWh)	ｵﾌﾋﾟｰｸ時評価単価*3(円/kWh)	時間帯シフトによる便益*4(百万円)	評価
	T	M	D	ΔC=M×D	AN	AP	AO	BN	BP	BO	ΔV	ΔC/ΔV
A地点	4.0	2,369	10.6	251.15	223,777	52,731	172,250	8.00	14.00	8.00	326.09	0.77

*1)現行評価単価8.00（円/kWh） [設定値]
*2)ﾋﾟｰｸ時評価単価14.00（円/kWh） [設定値]
*3)ｵﾌﾋﾟｰｸ時評価単価8.00（円/kWh） [設定値]
*4)ΔV(円) = {AP(kWh)×BP(円/kWh)＋AO(kWh)×BO(円/kWh)} － {AN(kWh)×BN(円/kWh)}

(4) 新規計画地点（導水路調整能力付加案）の場合

新規計画地点（導水路調整能力付加案）の場合には、地下調整池（導水路）工事費以外のの発電所全体工事費を入力することにより、発電計画全体における kW 当たり建設単価、kWh 当たり建設単価を算出することにより、地下調整池式計画と流れ込み式計画との対比を行えるものとする。

第７章 発電所の運転維持管理

７．１ 発電所の運転

７．１．１ 発電所運転パターンの設定

発電所の運転パターンの設定は、「開発計画支援システム：運転パターン選定システム」を発電所の現地制御盤に組み込むことにより、当該日の自流量から自動的に運転パターンを設定することが可能となる。なお、流れ込み式運転、kW優先運転①、②、kWh優先運転のどの運転パターン選定するかは、設定パターンの切り替えで対応する。

【解説】

発電所の運用が中央制御所等からの指令で決定されることなく、現地発電所で比較的自由に運用を決定することができる地点では、現地操作盤に「開発計画支援システム：運転パターン選定システム」を組み込むことにより、当該日の自流量から自動的に運転パターンを決定することが可能となる。なお、採用される発電所の運転パターンは、(1)流れ込み式運転、(2)ｋW優先運転①、(3)ｋW優先運転②、(4)ｋWｈ優先運転（第３章参照）となるが、運転パターンの変更は設定パターンの切り替えで対応できるものとする。

各運転パターンとも１日の中では、いずれも次の３つの流量運転モードの組み合わせで運用が決定される。

表 ７－１　運転モード

<table>
<tr><th>運転モード</th><th colspan="3">発電使用水量</th><th>調整池との関係</th></tr>
<tr><td>①自流運転</td><td colspan="3">Qin：自流量</td><td>調整池への貯留、調整池からの供給が無い状態。</td></tr>
<tr><td rowspan="3">②貯留運転</td><td colspan="3">Qr：貯留時使用水量（Qr=0.0m³/s の場合含む）</td><td rowspan="3">（Qin－Ｑｒ）を調整池に貯留する。</td></tr>
<tr><td>kW 優先運転①</td><td>kW 優先運転②</td><td>kWh 優先運転</td></tr>
<tr><td>0 または Qmin(最小使用水量)</td><td>任意流量</td><td>任意流量</td></tr>
<tr><td rowspan="3">③ピーク運転</td><td colspan="3">Qp：ピーク時使用水量（Qp は、必ずしも最大使用水量Qmax ではない）</td><td rowspan="3">（Qp－Qin）を調整池から供給する。</td></tr>
<tr><td>kW 優先運転①</td><td>kW 優先運転②</td><td>kWh 優先運転</td></tr>
<tr><td>Qmax または可能最大(自流が8月L5流量以下の場合)</td><td>Qmax または可能最大(自流が8月L5流量以下の場合)</td><td>任意流量</td></tr>
</table>

運転パターンが決定されると、具体的に毎時の運転モードと使用水量が決定され、流量の制御は、時間と使用水量をコントロールすることになる。

７．１．２ 流量制御方法

発電所の運転は、調整池内への貯留、調整池からの水の供給を流量調整ゲートまたは水車ガイドベーン操作により行い、流量の制御方法については、接続パターン毎に異なる。

【解説】

接続パターン毎の調整池からの流量制御方法は、以下に示すとおりである。

(1) 導水路途中接続案

導水路途中接続案の流量調整は、調整池末端に設けるゲートＢを用いて行う。流量の制御は、運転状況の変化に応じて表７－２のとおりとなる。図７－２の運転パターン模式図は、基本的にはｋW優先運転②のパターンである。このうちｋW優先運転①は、Ｑr が 0 またはＱmin の場合、kWh 優先運転はＱp がＱmax に限らず任意のピーク流量の場合であり、いずれも同様な考え方で流量制御できる。

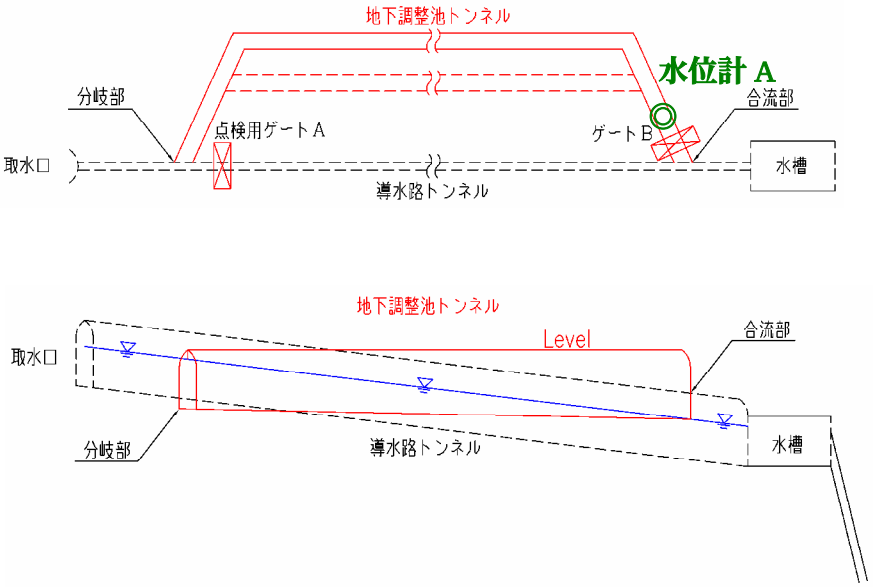


図７－１　導水路途中接続案模式図

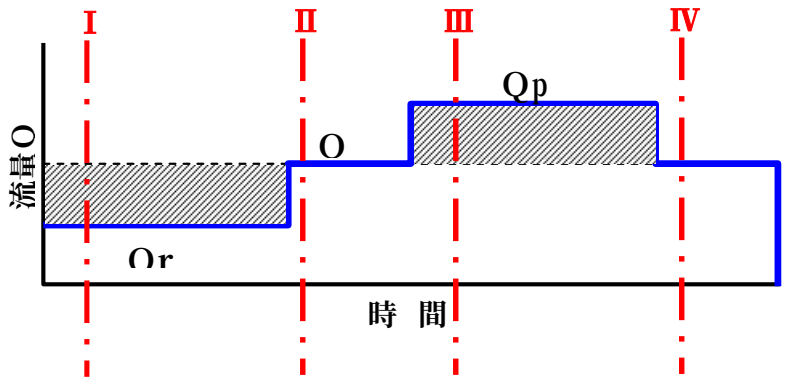


図７－２　運転パターン模式図（ｋW優先運転②の場合）

表７－２　導水路途中接続案における流量制御方法

運転状況	水位計 A の変化	ゲート B の操作	発電使用水量 Q
Ⅰ 貯留運転時	Hin→ Hmax（Hp）	全閉または水位計 A の水位に応じてQmin（Qr）の一定放流を行う。	Qmin（Qr）
Ⅱ 自流運転時	Hmax（Hp）	水位計 A の水位に応じてQin の一定放流を行う。	Qin
Ⅲ ピーク運転時	Hmax（Hp） →Hin	水位計 A の水位に応じてQmax（Qp）の一定放流を行う。	Qmax（Qp）
Ⅳ 自流運転時	Hin	水位計 A の水位に応じてQin の一定放流を行う。	Qin

※）Hin：自流流下時の調整池水位、Hmax：調整池最高水位、Hp：当該日の調整池最高水位

Qmin：最小使用水量、Qr：貯留運転流量、Qin：自流、Qmax：最大使用水量、Qp：任意ピーク流量

(2) 水槽接続案

水槽接続案の流量調整は、水車ガイドベーンを用いて行う。流量の制御は、運転状況の変化に応じて表７－３のとおりとなる。図７－４の運転パターン模式図は、基本的には kW優先運転②のパターンである。このうち kW優先運転①は、Qr が 0 またはQmin の場合、kWh優先運転はQp がQmax に限らず任意のピーク流量の場合であり、いずれも同様な考え方で流量制御できる。

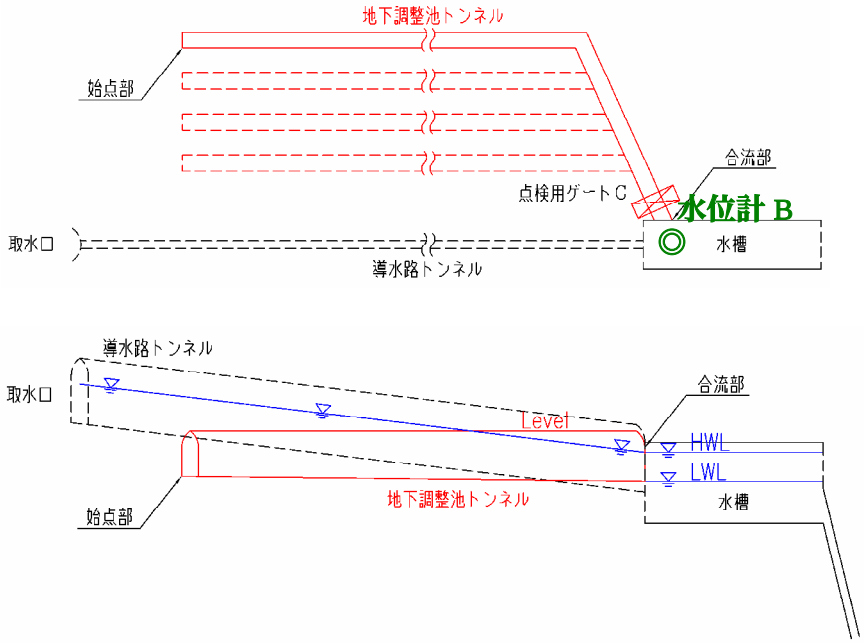


図７－３　水槽接続案模式図

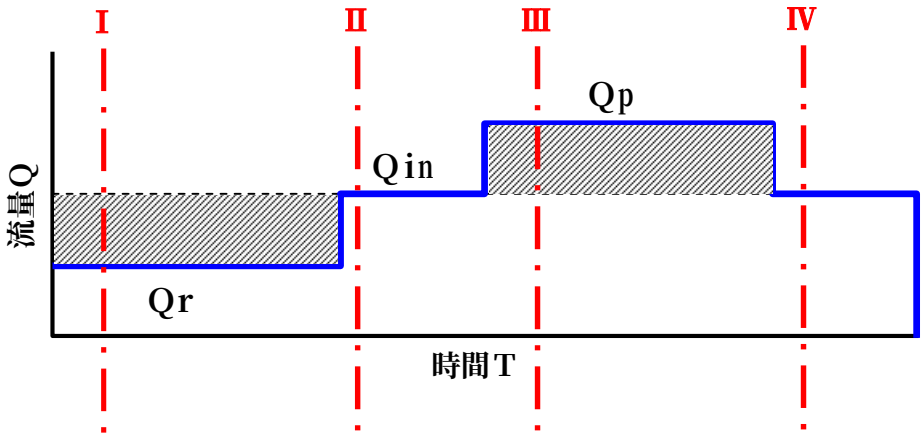


図７－４　運転パターン模式図（ｋW優先運転②の場合）

表７－３　水槽接続案における流量制御方法

運転状況	水位計 B（水槽水位）の変化	ガイドベーンの操作	発電使用水量 Q
Ⅰ 貯留運転時	Hmin→ Hmax（Hp）	全閉または水位計 B の水位に応じてQmin（Qr）の一定放流を行う。	Qmin（Qr）
Ⅱ 自流運転時	Hmax（Hp）	水位計 B の水位に応じてQin の一定放流を行う。	Qin
Ⅲ ピーク運転時	Hmax（Hp） →Hmin	水位計 B の水位に応じてQmax（Qp）の一定放流を行う。	Qmax（Qp）
Ⅳ 自流運転時	Hmin	水位計 B の水位に応じてQin の一定放流を行う。	Qin

※）Hmin：水槽 LWL、Hmax：水槽 HWL、Hp：当該日の水槽最高水位

Qmin：最小使用水量、Qr：貯留運転流量、Qin：自流、Qmax：最大使用水量、Qp：任意ピーク流量

(3) 導水路調整能力付加案

導水路調整能力付加案の流量調整は、調整池末端に設けるゲートDを用いて行う。流量の制御は、運転状況の変化に応じて表７－４のとおりとなる。図７－５の運転パターン模式図は、基本的にはkW優先運転②のパターンである。このうちkW優先運転①は、Qrが0またはQminの場合、kWh優先運転はQpがQmaxに限らず任意のピーク流量の場合であり、いずれも同様な考え方で流量制御できる。

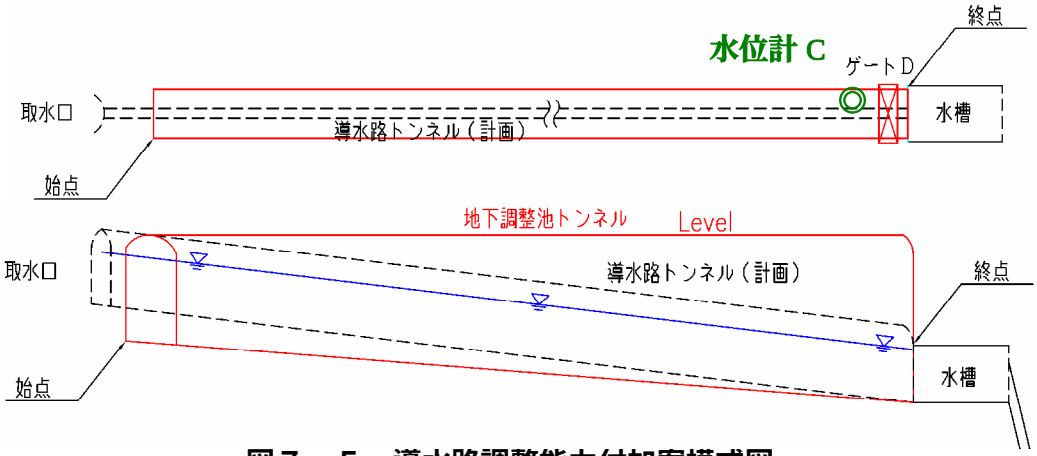


図７－５　導水路調整能力付加案模式図

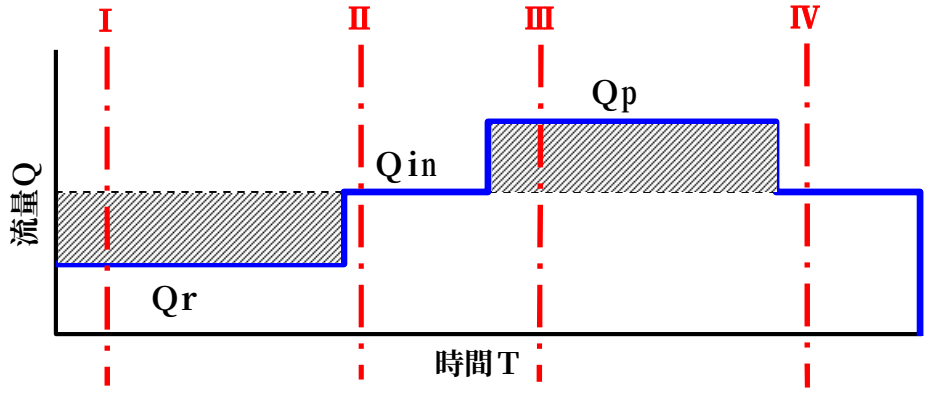


図７－６　運転パターン模式図（ｋW優先運転②の場合）

表７－４　導水路調整能力付加案における流量制御方法

運転状況	水位計Cの変化	ゲートDの操作	発電使用水量Q
I 貯留運転時	Hin→Hmax（Hp）	全閉または水位計Cの水位に応じてQminの一定放流を行う。	Qmin
II 自流運転時	Hmax（Hp）	水位計Cの水位に応じてQinの一定放流を行う。	Qin
III ピーク運転時	Hmax（Hp）→Hin	水位計Cの水位に応じてQmax（Qp）の一定放流を行う。	Qmax（Qp）
IV 自流運転時	Hin	水位計Cの水位に応じてQinの一定放流を行う。	Qin

※）Hin：自流流下時の調整池水位、Hmax：調整池最高水位、Hp：当該日の調整池最高水位

Qmin：最小使用水量、Qr：貯留運転流量、Qin：自流、Qmax：最大使用水量、Qp：任意ピーク流量

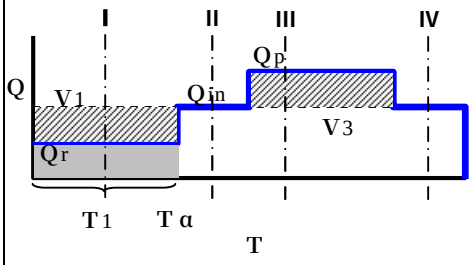
７．１．３ ゲート制御方式

導水路途中接続案・導水路調整能力付加案では、既設発電所で運用されている水槽水位一定運転を継続し、調整池末端部に設けた流量調整ゲートにより水槽への流入量を制御する。

【解説】

導水路途中接続案、導水路調整能力付加案におけるゲートによる流量調整は、以下のとおり行う。

ａ貯留運転時（Ｑr を設定し運転）



Hmax：当該日の調整池最高水位(m)

Hx：調整池の現在水位(m)

(a)演算概要

①Hmax(m)－Hx(m)から $V_1(m^3)$を算出する。

②Qin－Qr＝ΔQ_1

③ΔQ_1 と V_1 から T_1 を算出する。

④現在時刻と T_1 から T_α時を設定する。

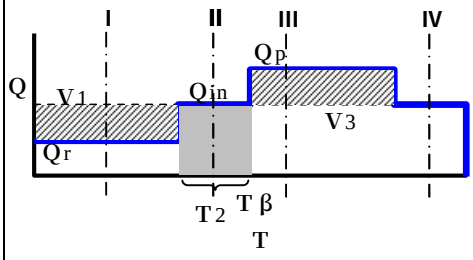
(b)調整制御方法

ゲート B または D：水位計 Hx(m)とゲート B または D の開度の関係から Qr 一定放流

(c)貯留運転から自流運転への移行条件

水位 Hmax に到達または T_α時に到達のいずれかで、自流運転へ移行する。

ｂ自流運転時



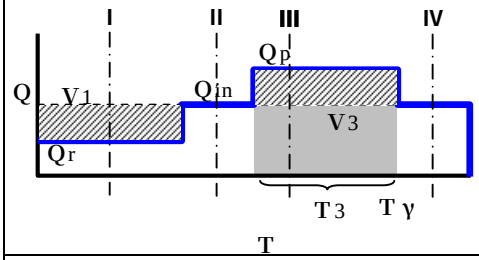
(a)調整制御方法

ゲート B または D：水位計 Hx(m)とゲート B または D の開度の関係から Qin 一定放流

(b)自流運転からピーク運転への移行条件

T_β時（ピーク開始時刻は設定）にピーク運転へ移行する。

ｃピーク運転時（ピーク時間 T_3 は設定）



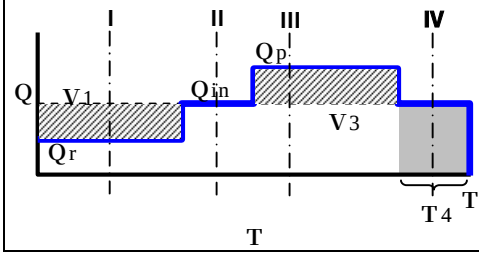
(a)調整制御方法

ゲートＢまたは D：水位計 Hx(m)とゲート B または D の開度の関係から Qp 一定放流

(b)ピーク運転から自流運転への移行条件

T_γ時に自流運転へ移行する。

ｄ自流運転時



(a)調整制御方法

ゲート B または D：全開

(b)自流運転から貯留運転への移行条件

T_δ時に貯留運転へ移行する。

図７－７　導水路途中接続案、導水路調整能力付加案におけるゲート制御の考え方（ｋW優先運転②の場合）

７．１．４ 水車ガイドベーン制御方式

水槽接続案では、水槽水位を変化させて調整池に貯留、または調整池から供給する方式であるため、流量制御には水車ガイドベーン開度調整が必要であり、新たなシステム機能が必要である。

【解説】

水位調整運転を実現するには、一般的に水位調整器盤として単独設置されるものや自動制御盤の一部機能として設置される装置に大別される。このうち、自動制御盤の一部機能とするものはその種別として、調速機の一部機能であるもの、運転制御装置の一部機能であるもの、一体型運転制御装置の一部機能であるものなどがある。いずれの場合も、水槽水位に応じて水車ガイドベーン開度を定める機能が有り、水槽への流入量に応じた運転を可能とするものである。この機能を用い、自流運転を目的に設置されている事例が多い。

水槽接続案では、水槽水位を変化させて調整池に貯留、または調整池から供給する方式であるため、流量制御は水車ガイドベーン開度調整が必要である。現状の機器は、水槽水位を基に水位調整運転を行っているため、ガイドベーン開度により流量調整するためには、新たなシステム機能が必要である。

このため、水槽接続案は、水位調整器の自流運転機能に大幅な機能付加が必要であり、既設水位調整機能の組込み形態に応じ、改良方法を検討する必要がある。これら制御システムの機能追加概要と水位調整機能のシステム改良例について記述する。

(1) 機能追加概要のフロー

基本運転パターンのフローは、図７－８のとおりである。

このフロー図のとおり、貯留モード、高水位自流運転モード、ピーク運転モード、低水位自流運転モードにより運転する。

ピーク運転後、速やかに高水位に回復させたい場合は、低水位自流モードを省略し、ピーク運転モードから貯留モードに即時に移行する場合もある。

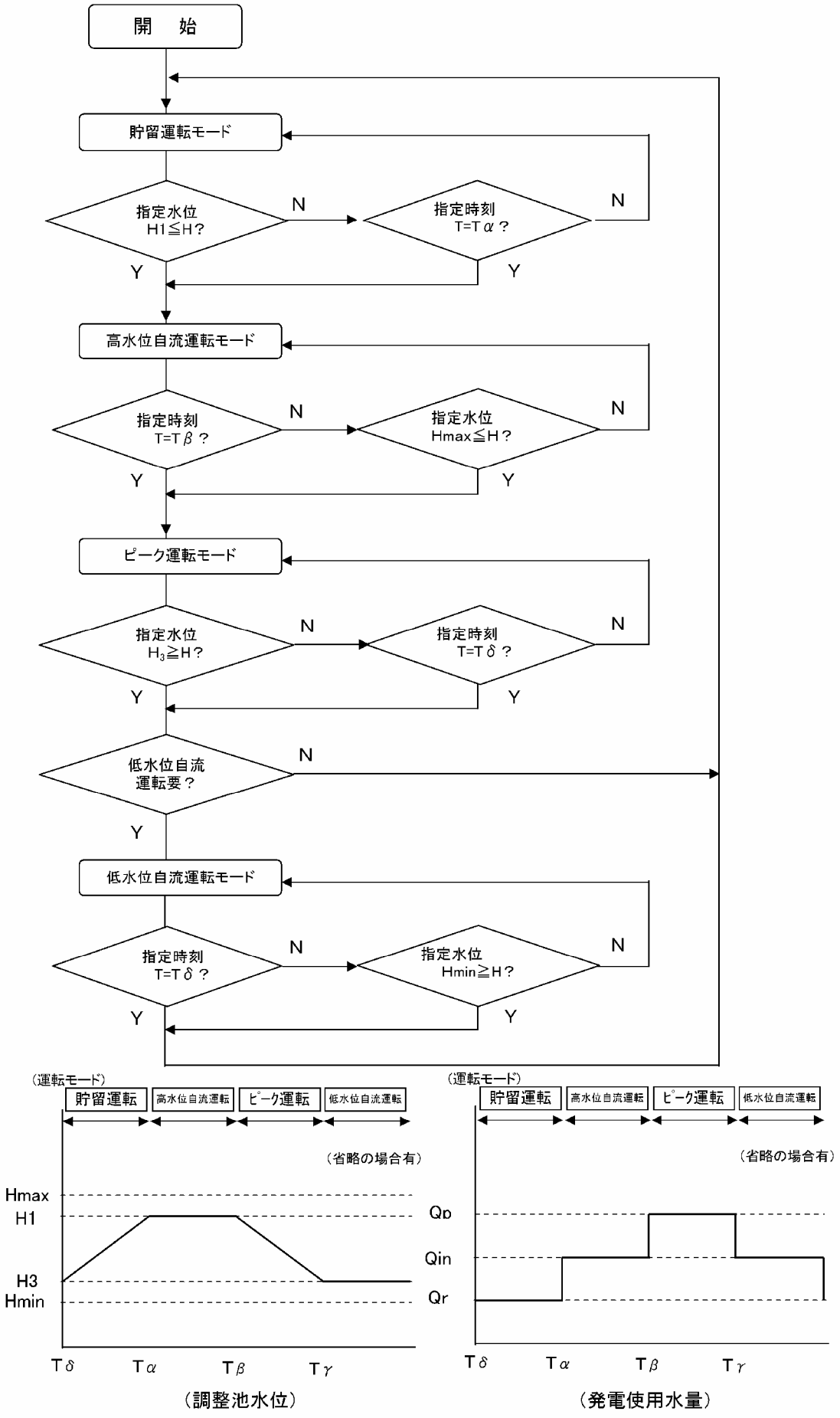


図７－８　制御システムフロー図

(2) システム改良の基本仕様について

水位調整機能として自流運転に加え、貯留運転、高水位自流運転、ピーク運転、低水位自流運転を行うための基本仕様について示す。

検討条件として、単独発電所で水力発電所内に新設される自立制御盤を想定した。この自立制御盤は、関数演算可能なプログラマブルコントローラ（ＰＬＣ）を用い、既設調速器制御盤の負荷制限装置へインタラプタ出力し、ガイドベーン開度上げ下げ信号を送出する。

運転パターンのうち、ピーク運転と貯留運転時は、目標とした発電出力や目標とした使用水量で運転する。出力対流量特性（Ｐ－Ｑ曲線）を用い、目的とする流量を算定し流量を求め、流量対開度特性（Ｑ－ＧＶ曲線）を用い、所定のガイドベーン開度を求める。落差が特性に影響を与える場合は、落差補正を行う。また、出力対開度特性（Ｐ－ＧＶ曲線）から直接落差補正したガイドベーン開度を求めるケースもある。

自流運転時は、高水位で実現するケースとピーク運転後の低水位で実現するケースがある。いずれの場合も、水槽水位に応じたガイドベーン開度に設定された水位垂下率特性で自流運転する。貯留運転終了後の高水位での自流運転とピーク運転終了後の低水位での自流運転の両方を可能とし、かつ、運転モード移行時に過度な変動がないよう、任意の水位垂下率特性を演算し設定できる機能が必要である。

実際には、現地の状況に応じて検討が必要となる。

a 基本的な演算方法について

(a)自流Ｑin が、パターン運転できる流量であることを条件に、パターン運転制御を開始する。具体的には、一定流量以上、一定流量以下の場合はパターン運転不可のインターロック機能を設ける。

(b)自流運転時の流量調整は、一般的な制御方式である水位調整器によりガイドベーン開度を演算し、偏差を負荷制限装置から上げ下げ出力することにより実現する。

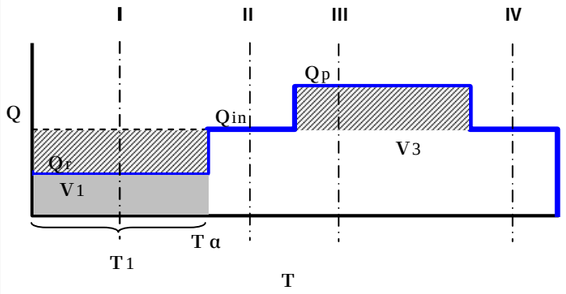
(c)貯留運転時ならびにピーク運転時の目標ガイドベーン開度は、自流Ｑin と計画貯留量Ｖ1、ピーク時使用可能量Ｖ3 とＴ1、Ｔ3 から算出する。

(d)高落差の発電所を対象としているため、出力対流量特性（Ｐ－Ｑ曲線）に落差補正を考慮する。ただし、高落差地点で、落差補正が無視できる地点は落差補正を省略する（ペルトン水車などを採用した高落差地点では、落差補正を必要としないケースが多い）。

(e)水槽水位は、波浪による水位変動の影響を排除する目的で、平滑化した値を制御に用いることが多い。この場合、保護と制御の協調に留意する必要がある。

(3) 電気設備システム基本仕様の概要例について

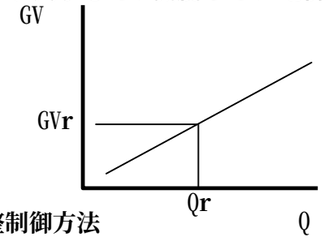
a．貯留運転時（Qr を設定し運転）



貯留運転モデル

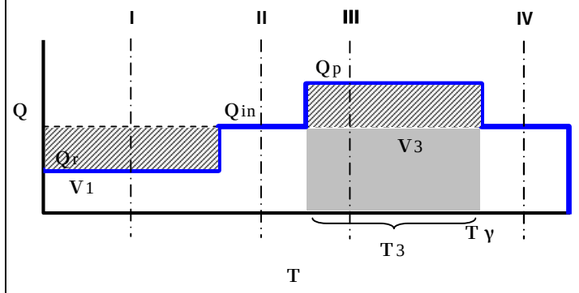
Hmax：当該日の水槽最高水位(m)
Hx：水槽の現在水位(m)

(a)演算概要
①Hmax(m)－Hx(m)から $V_1(m^3)$を算出する。
②Qin－Qr＝ΔQ_1
③ΔQ_1と V_1から T_1を算出する。
④現在時刻と T_1から T_α時を設定する。
⑤Qr に対する GV 開度の GVr を算定する。



(b)調整制御方法
算定した GVr で負荷制限装置(77)による流量調整を行う。
(c)貯留運転から自流運転への移行条件
水位 Hmax に到達または、時刻 T_α時に到達のいずれかで自流運転に移行する。

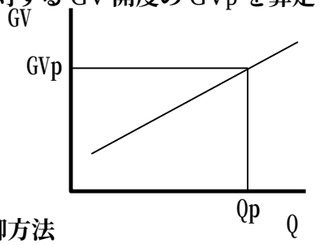
c．ピーク運転時（ピーク時間 T_3 は設定）



ピーク運転モデル

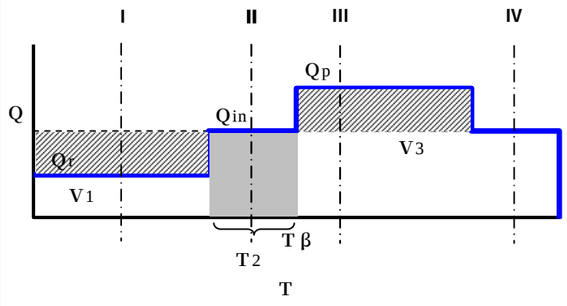
Hmin：当該日の水槽最低水位(m)
Hx：水槽の現在水位(m)

(a)演算概要
①Hx(m)－Hmin(m)から $V_3(m^3)$を算出する。
②ピーク時間 T_3から T_γ時を設定する。
③V_3と T_3からΔQ_3ピーク使用水量を算出する。
④Qp＝Qin＋ΔQ_3
⑤Qp に対する GV 開度の GVp を算定する。



(b)調整制御方法
算定した GVp で負荷制限装置(77)による流量調整を行う。
(c)ピーク運転から自流運転への移行条件
水位 Hmin に到達または、時刻 T_γ時に到達のいずれかで自流運転に移行する。

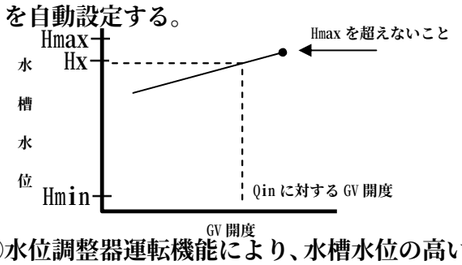
b．水槽高水位　自流運転時



水槽高水位　自流運転モデル

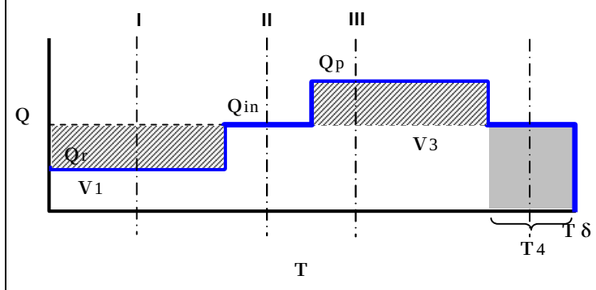
※）水位垂下率：水位の変化幅に対して、ガイドベーンの開度を決める傾き。

(a)演算概要
①現在水槽水位 Hx と Qin を用い水位垂下率※を自動設定する。



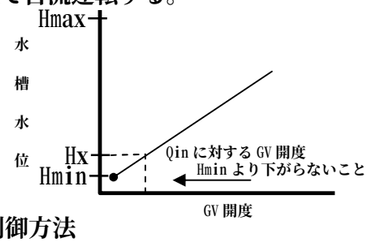
②水位調整器運転機能により、水槽水位の高い位置で自流運転する。
(b)調整制御方法
水位上昇で負荷制限装置(77)上げにより水車水量を増やす。
水位低下で負荷制限装置(77)下げにより水車水量を減らす。
(c)自流運転からピーク運転への移行条件
水位 Hmax に到達または、時刻 T_β時に到達のいずれかでピーク運転に移行する。

d．水槽低水位　自流運転時



水槽低水位　自流運転モデル

(a)演算概要
①水槽水位 Hx と Qin を用い水位垂下率を自動設定する。
②水位調整器運転機能により、水槽水位の低い位置で自流運転する。



(b)調整制御方法
水位上昇で負荷制限装置(77)上げにより水車水量を増やす。
水位低下で負荷制限装置(77)下げにより水車水量を減らす。
(c)自流運転から貯留運転への移行条件
水位 Hmin に到達または、時刻 T_δ時に到達のいずれかで貯留運転に移行する。

図７－９　電気設備システムの機能仕様概要例（（ｋW優先運転②の場合）

７．２ 発電所の維持管理

地下調整池内は、通常の導水路トンネルよりも緩勾配であり、特に貯留時には調整池を流れる水の流速は非常に遅いものとなることから、十分な堆砂対策を講じる必要がある。

【解説】

一般的な導水路トンネルの勾配は、1/1,000～1/2,000 であることに対して、地下調整池トンネルの勾配は 1/2,000～1/5,000 の緩勾配とした。これより、地下調整池内を流れる水の流速は、特に貯留時には非常に遅い流れとなることから、通常の導水路トンネルに比べて土砂が堆積し易い構造物となる。

地下調整池の設置位置は、通常取水堰堤の下流に設けられている沈砂池の下流側に設置することを考えていることから、沈砂池が十分な構造物の機能を発揮していると考えれば、粒径の大きな土砂は調整池内へは混入し難いものと考えられる。

したがって、調整池内に堆砂する土砂の粒径は小さいものと考えられることから、通常は自流運転時に水と一緒にフラッシングすることにより土砂を排除するものとする。

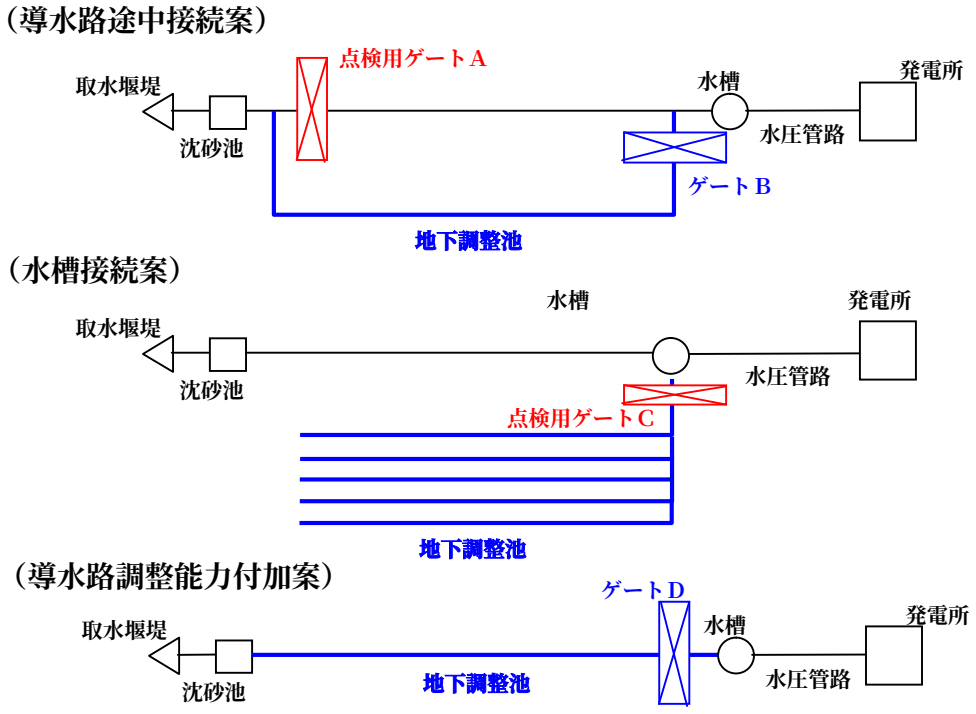


図７－１０　地下調整池模式平面図

維持管理の作業にあたっては、接続パターン毎に表７－５に示す特徴を有している。

表７－５　各接続パターンにおけるメンテナンス時の特徴

接続パターン	メンテナンス時の特徴
導水路途中接続案	・地下調整池供用時には、通常全閉状態である点検用ゲートＡを全開とし、地下調整池の始点側に運転水位に対処する角落し等を設置することにより、地下調整池内をドライな状況としてメンテナンスが可能である（地下調整池へのアクセス作業坑が必要）。その際、発電所では流れ込み式の運転が行える。
水槽接続案	・地下調整池供用時には、通常全開状態である点検用ゲートＣを全閉とし、地下調整池内をドライな状況としてメンテナンスが可能である（地下調整池へのアクセス作業坑が必要）。その際に、発電所は流れ込み式の運転が行える。
導水路調整能力付加案	・地下調整池内をドライな状況としてメンテナンスを行うためには、取水口ゲートを閉塞する等、取水停止を行い、発電所を停止する必要がある。 ・新規の計画地点であることから、あらかじめ水槽に地下調整池を考慮した土砂吐き設備を設置しておくことも可能である。

なお、土砂流入の大きな発電所に地下調整池を計画する際には、あらかじめ土砂対策として以下の項目等について考慮しておく必要がある。

・出水時の取水制限等を確実に実施し、調整池内への土砂流入防止に配慮する。
・既設構造物や地形条件等を考慮して、あらかじめ地下調整池からの土砂吐き設備の設置を検討する。
・ホイールローダーやキャリアダンプ等の重機を用いて排土可能なように、あらかじめ進入口の確保を考慮する。

Ⅲ－２　地下調整池 開発計画支援システム説明書

巻末資料－１

地下調整池　開発計画支援システム

説明書

目　次

１．システム概要 ---------- 資料1-3

２．プログラムのインストール ---------- 資料1-4

３．メニュー構成 ---------- 資料1-7

４．メイン画面 ---------- 資料1-8

５．ファイル・メニュー ---------- 資料1-9

６．編集・メニュー ---------- 資料1-13

７．表示・メニュー ---------- 資料1-16

８．ウィンドウ・メニュー ---------- 資料1-17

９．ヘルプ・メニュー ---------- 資料1-18

１０．地下調整池容量設定システム ---------- 資料1-19

１１．地下調整池構造設定システム ---------- 資料1-23

１２．工事費算定システム ---------- 資料1-26

１３．運転パターン選定システム ---------- 資料1-33

１４．経済性評価システム ---------- 資料1-44

１．システム概要

地下調整池の開発計画の策定については、「地下調整池　開発計画マニュアル」を基に検討を行うことを前提とします。開発計画支援システムは、効率的に計画立案を行うことを目的として開発したものです。

本システムは、既設発電所に新たに地下調整池を構築する場合と新規の流れ込み式計画地点に地下調整池を付加する場合を考慮した「地下調整池　開発計画支援システム」であります。

システムの構成を以下に示します。

- ・地下調整池容量設定システム
- ・地下調整池構造設定システム
- ・工事費算定システム
- ・運転パターン選定システム
- ・経済性評価システム

２．プログラムのインストール

必要システム

日本語オペレーティングシステム(Microsoft Windows 2000, Microsoft Windows XP)
.Net Framework 2.0
ディスプレイ(1024×768以上を推奨)

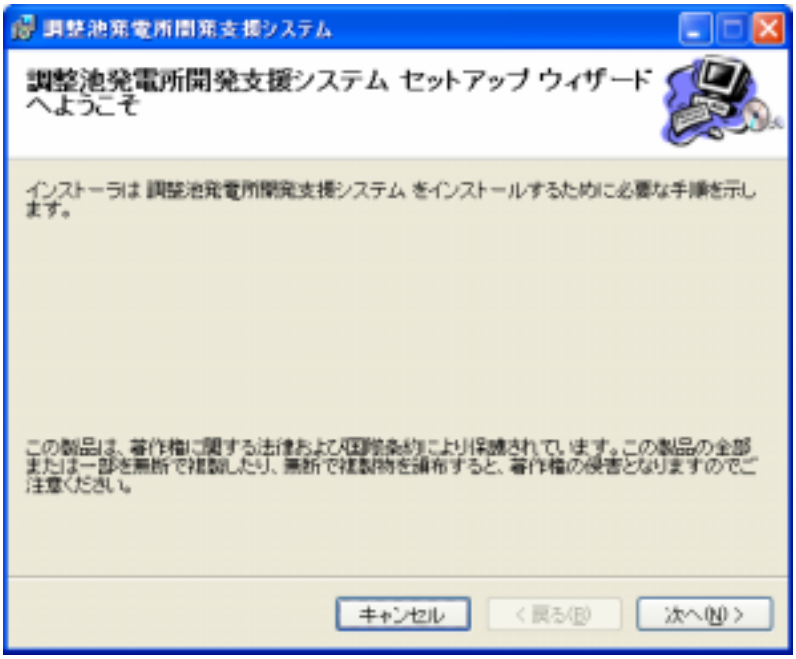
プログラムのインストール

本製品のCD-ROMをドライブにセットし、起動するセットアッププログラムの画面に従って操作を行うことで簡単にインストールすることができます。

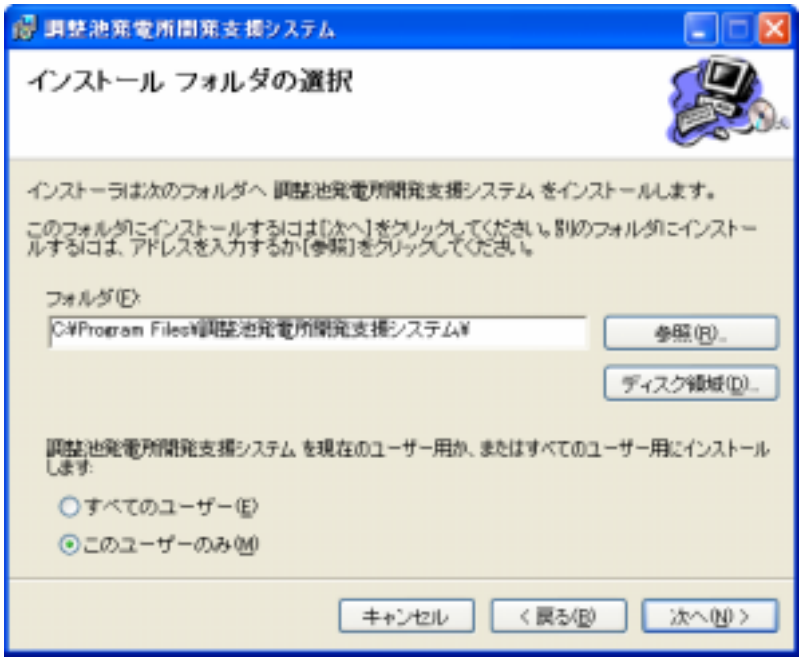
自動的にセットアッププログラムが起動しない場合は以下の方法でセットアッププログラムを起動することができます。

タスクバーの[スタート]ボタンをクリックし、[コントロールパネル(C)]をクリックします。[プログラムの追加と削除]アイコンをダブルクリックします。

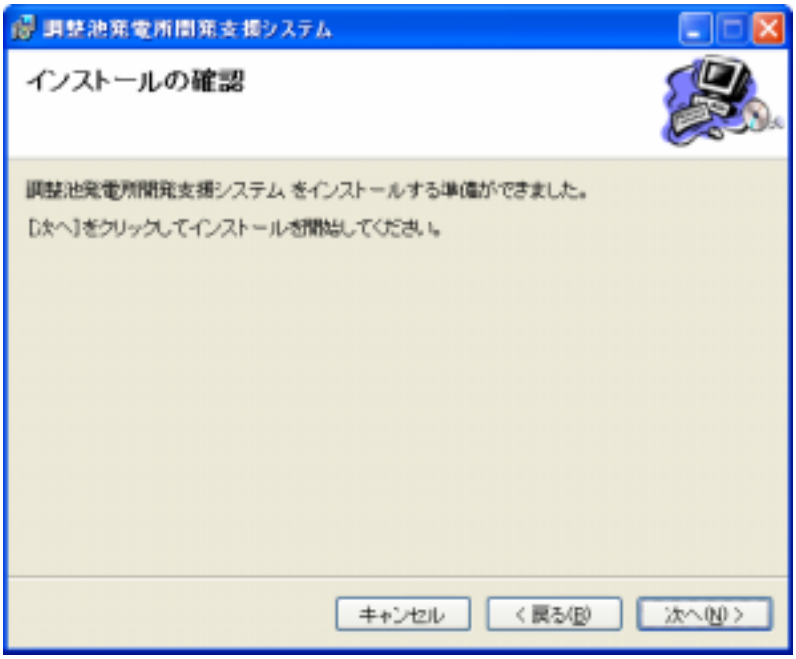
［プログラムの追加］の［CDまたはフロッピー(F)］ボタンをクリックすると、セットアッププログラムが起動します。



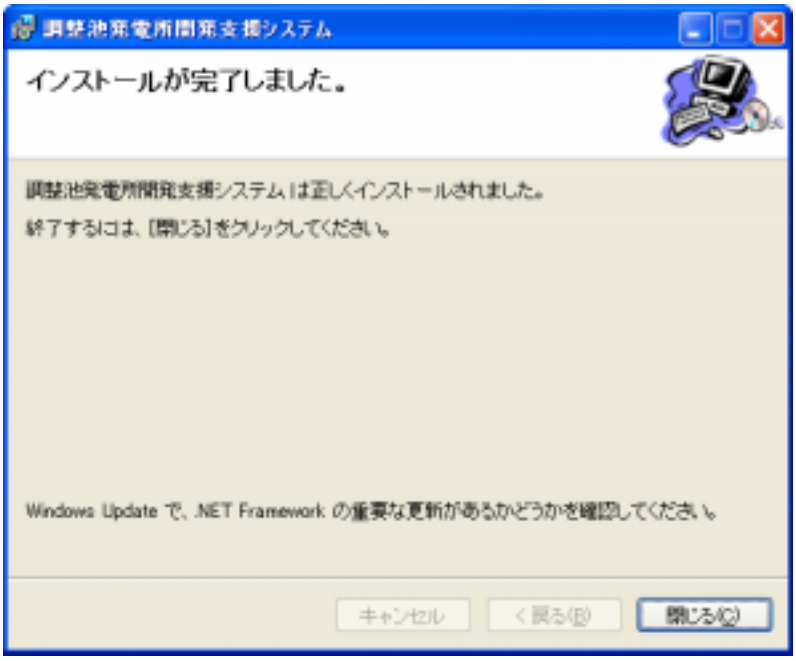
インストールの準備を開始します。



インストールフォルダの指定をします。フォルダを変更したい場合は[参照(R)]ボタンをクリックしてください。インストール先のフォルダの指定画面が表示されますので、フォルダを指定してください。



[次へ(N)]ボタンをクリックすると、セットアップが開始されます。



「インストールが完了しました。」のメッセージが表示されましたら。インストールは終了です。

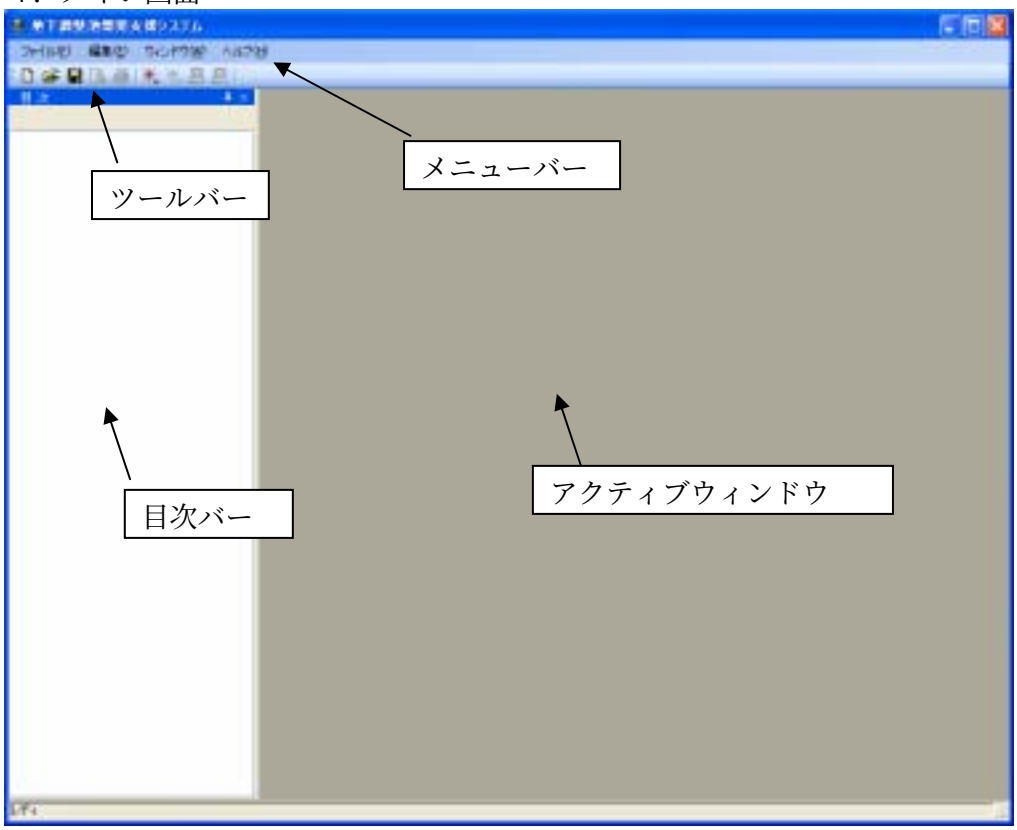
３．メニュー構成

本システムのメニュー構成と各メニューの概要を以下に示します。

（以下、［　］はシステムのメニューあるいはコマンドを、表します。）

［ファイル］	→ ファイルメニュー
［新規作成］	→ データをクリアし新規作成
［開く］	→ 既存のファイルを開く
［上書き保存］	→ 上書き保存
［名前をつけて保存］	→ 名前をつけて保存
［初期設定値保存］	→ 工事費算定システムの初期設定値保存
[印刷スタイルの設定]	→ 印刷スタイルの設定
[印刷プレビュー]	→ 印刷プレビュー
[印刷]	→ 印刷
[エクスポート]	→ エクスポート
［終了］	→ システム終了
［編集］	→ 編集メニュー
［新規地点］	→ 地点を新規作成
［地点名を変更］	→ 選択した地点の名前を変更
［地点削除］	→ 選択した地点の削除
［システム追加］	→ 選択した地点にシステム追加
［システム削除］	→ 選択したシステムの削除
[矩形貼り付け]	→ エクセルデータ等の貼り付け
［クリップボードへコピー］	→ クリップボードへコピー
［表示］	→ 表示メニュー
［拡大］	→ 拡大表示
［縮小］	→ 縮小表示
［ウィンドウ］	→ ウィンドウメニュー
［目次バー］	→ 目次バーの表示・非表示
［閉じる］	→ アクティブウィンドウを閉じる
［すべて閉じる］	→ 開いている全てのウィンドウを閉じる
［ヘルプ］	→ ヘルプメニュー
［バージョン情報］	→ バージョン情報の表示

４．メイン画面



RREPPDSS(RREPPDSS.exe)を起動すると、上の画面が表示されます。

システムを追加すると目次バーに各システムの項目が表示され、ダブルクリックで選択するとアクティブウィンドウ画面に表示されます。

ツールバーのボタンは、左から

[新規作成]、[ﾌｧｲﾙを開く]、[上書き保存]、[印刷プレビュー]、[印刷]、[新規地点]
[地点削除]、[システム追加]、[システム削除]、[拡大]、[縮小]

となります。

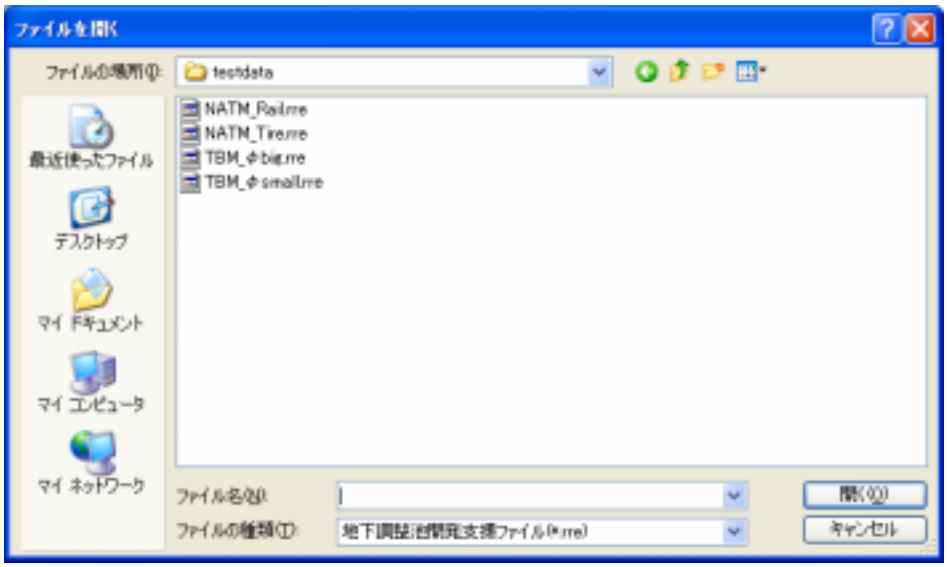
５．ファイル・メニュー

ファイル・メニューは、データファイル関係の操作メニューとなります。

[新規作成]

いままでの設定を全てクリアして、新規にデータを作成する状態にします。

[開く]

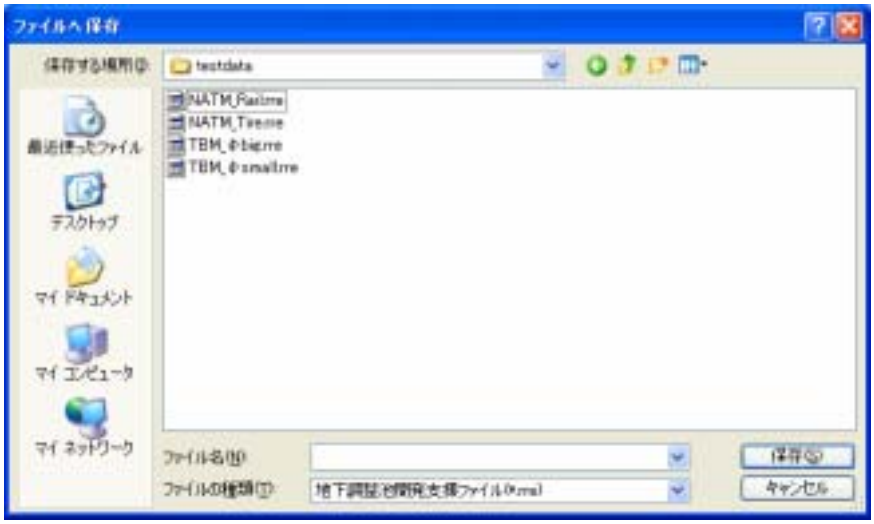


既存データを開きます。

[上書き保存]

データファイル名が設定されている場合は、データを上書き保存します。上書きの確認画面は、表示されませんので、上書きしたくないデータの場合は注意して下さい。

[名前をつけて保存]



入力したﾃﾞｰﾀを名前をつけて保存する時に実行して下さい。

[初期設定値保存]

工事費算定システムの初期設定値の変更を保存したい時に実行してください。

保存をすると次にこのシステムを使うときも変更後の値を使い続ける事になりますので注意してください。

[印刷スタイルの設定]

印刷のスタイルを設定します。印刷スタイルは印刷プレビューの画面でも設定できます。

[印刷プレビュー]

印刷プレビューが表示されます。

[印刷]

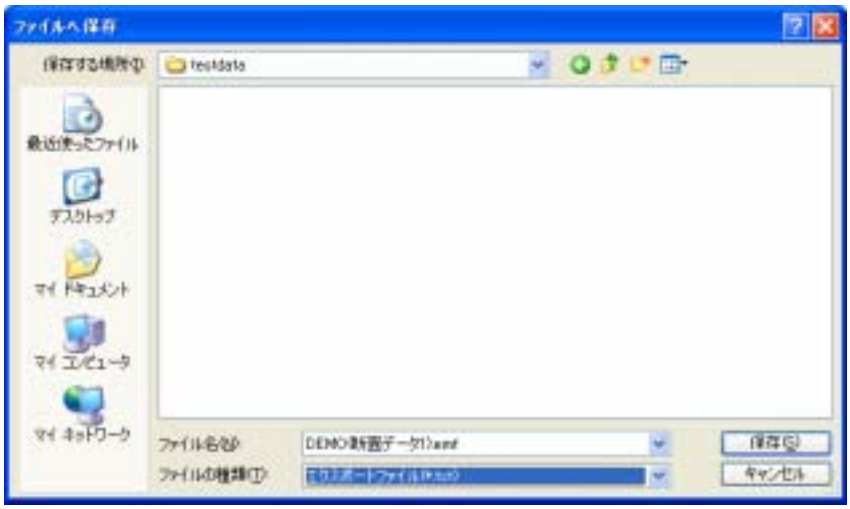
設定されているプリンタで印刷を実行します。

印刷プレビューと印刷は表や図の時のみ使用できます。

入力画面の印刷は対応していません。入力画面の印刷をしたい場合は Print Screan キー＋Alt キーで画面がコピーされワープロソフト等で Ctrl キー＋V キーでペーストができます。

Print Screan キー等はパソコンにより名称が変わります。パソコンのマニュアルを参照してください。

[エクスポート]



入力の表や結果の表、図の時に使用可能です。

入力の表の時は txt 形式のファイルが、結果の表、図の時は emf 形式のファイルが保存されます。

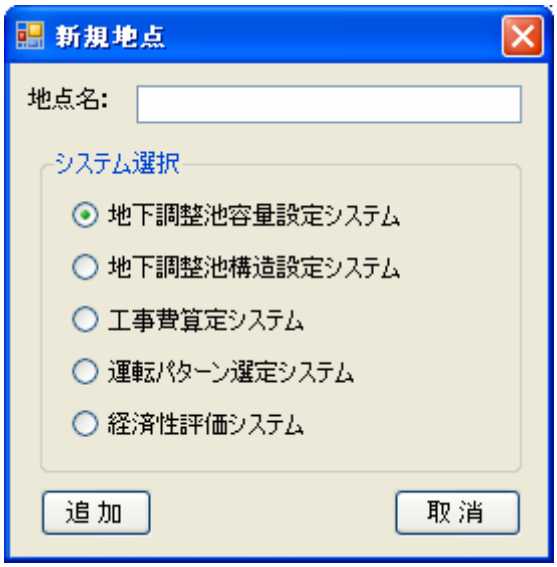
[終了]

システムを終了します。

６．編集・メニュー

編集・メニューは、システム管理の操作メニューとなります。

[新規地点]



地点名を入力し、システムを選択して追加ボタンを押すと地点が追加され、選択したシステムも追加されます。

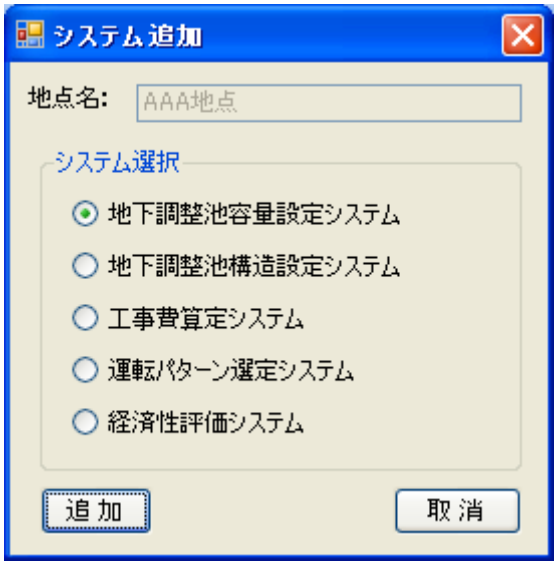
[地点名変更]

地点を選択した状態で地点名変更を実行すると地点名を変更する事ができます。

[地点削除]

地点を選択した状態で地点削除を実行すると地点を削除する事ができます。

[システム追加]



地点を選択した状態でシステム追加を実行するとシステムを追加できます。追加したいシステムを選択して追加を押すと選択したシステムが追加されます。

複数の同じシステムが作成される場合はシステム名の後ろに番号が付きます。

[システム削除]

削除したいシステムを選択した状態でシステム削除を実行すると選択したシステムが削除されます。

[矩形貼り付け]

入力の表の時に選択できるようになります。

エクセルなどからコピーした値を入力の表に貼り付けることができます。

[クリップボードへコピー]

表、図の時に選択できるようになります。

クリップボードへコピーができます。エクセル、ワード等に貼り付けができます。

以下に参考として概算工費の表をクリップボードへコピーで貼り付けた例を示します。

調整池トンネル概算工事費内訳書 発破工法

L = 2,700 m

工 種	単位	数 量	単価 (円)	工 費 (千円)	適 用
①発破掘削工法直接工事費				1,487,955	
ﾄﾝﾈﾙ掘削				733,116	
B	m3	0	0	0	
C_H	m3	79,667	5,099	406,229	
C_M	m3	41,930	6,008	251,911	
C_L	m3	9,537	7,862	74,976	
一次吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ				238,069	
B	m2	0		0	
C_H	m2	41,303	2,875	118,737	
C_M	m2	21,738	3,876	84,247	
C_L	m2	4,891	7,173	35,086	
ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ工				73,298	
B	本	0		0	
C_H	本	0		0	
C_M	本	12,649	4,072	51,505	
C_L	本	5,054	4,312	21,793	
鋼製支保工				13,673	
C_L	基	389	35,167	13,673	
金網工				2,541	
C_L	m2	3,176	800	2,541	
ずり処理（坑外運搬、捨土）				196,700	
B	m3	0	1,500	0	
C_H	m3	79,667	1,500	119,500	
C_M	m3	41,930	1,500	62,895	
C_L	m3	9,537	1,500	14,305	
二次吹付けコンクリート				95,558	
B	m2	0	1,421	0	
C_H	m2	40,889	1,421	58,099	
C_M	m2	21,520	1,421	30,578	
C_L	m2	4,842	1,421	6,880	
床版ｺﾝｸﾘｰﾄ				135,000	
	m2	27,000	5,000	135,000	
②運転経費				269,917	
仮設備費運転経費	式	1	269,917,000	269,917	
③仮設備費				459,290	
仮設備費	式	1	459,290,000	459,290	
純工事費（①＋②＋③）				2,217,162	
④共通仮設費				94,964	6.38 %
⑤現場管理費				564,490	25.46 %
間接工事費（④＋⑤）				659,453	
工事原価（①＋②＋③＋④＋⑤）				2,876,616	
⑥一般管理費				208,969	7.26 %
⑦追加工事費				0	
工事価格（①＋②＋③＋④＋⑤＋⑥＋⑦）				3,085,585	千円
		1m当り工事費		572,000	円/m
		1m^3当り工事費		23,600	円/m3

７．表示・メニュー

表示・メニューは、表示の操作メニューとなります。

[拡大]
表示を拡大表示します。

[縮小]
表示を縮小表示します。

拡大、縮小ともに結果の表と図の時のみ選択できるようになります。

８．ウィンドウ・メニュー

ウィンドウ・メニューは、ウィンドウの操作メニューとなります。

[目次バー]
目次バーにチェックがついていると表示し、チェックを外すと非表示となります。

[閉じる]
アクティブウィンドウを閉じます。

[全て閉じる]
開いている全てのウィンドウを閉じます。

９．ヘルプ・メニュー

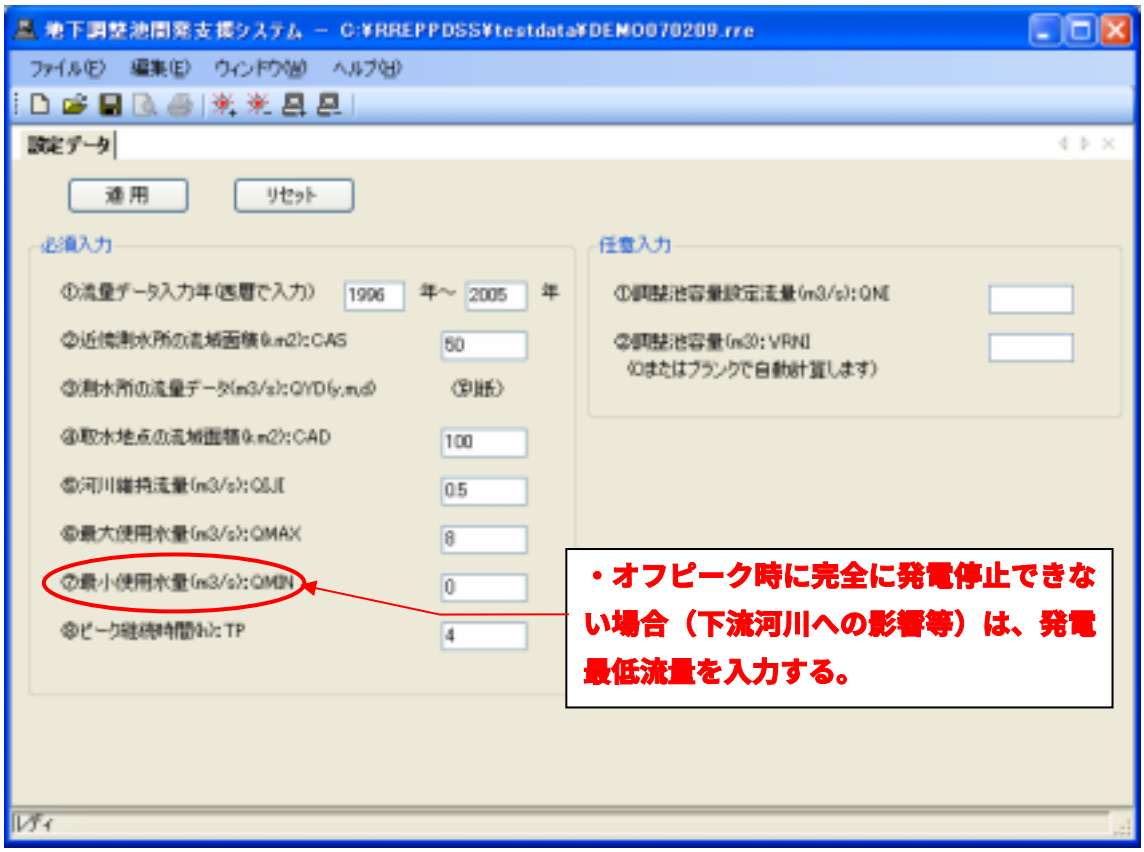
［バージョン情報］

本システムのバージョン情報を表示します。

１０．地下調整池容量設定システム

[入力データ]

・設定データ



必須入力にはかならず値を入れてください。入力後適用ボタンを押すと流量データを入力することができます。

「マニュアル：2.2.2 地下調整池容量参照」

ボタンの説明

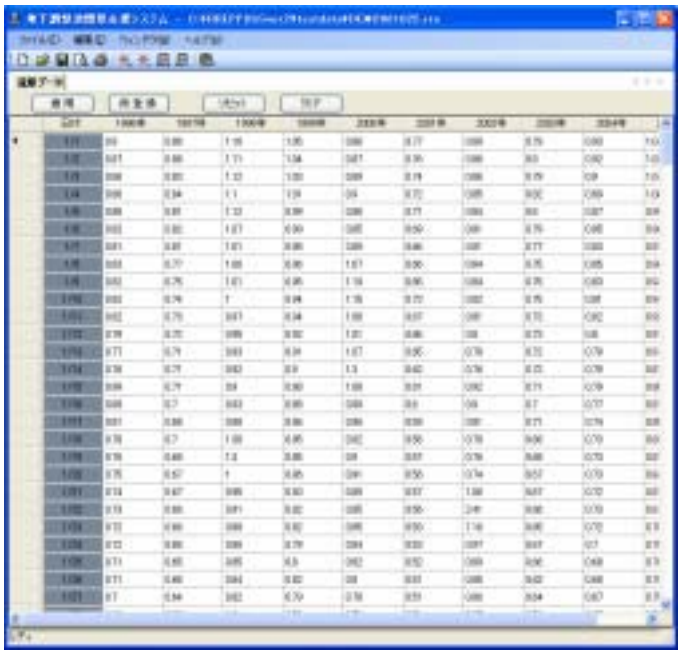
適用：入力データを適用します。ただし、空欄があると適用できません。

仮登録：入力が途中の状態で中断したい場合に仮登録をします。また適用後、設定データで入力年の範囲を変えた場合もこの状態になります。仮登録では算定結果は表示できません。

リセット：適用していた状態に戻します。

クリア：入力をすべてクリアします。

・流量データ



※［矩形貼付け］

あらかじめ流量データがエクセル等に入力されていれば、矩形コピーでシステムに入力できる。

① エクセル：コピー範囲を矩形で指定

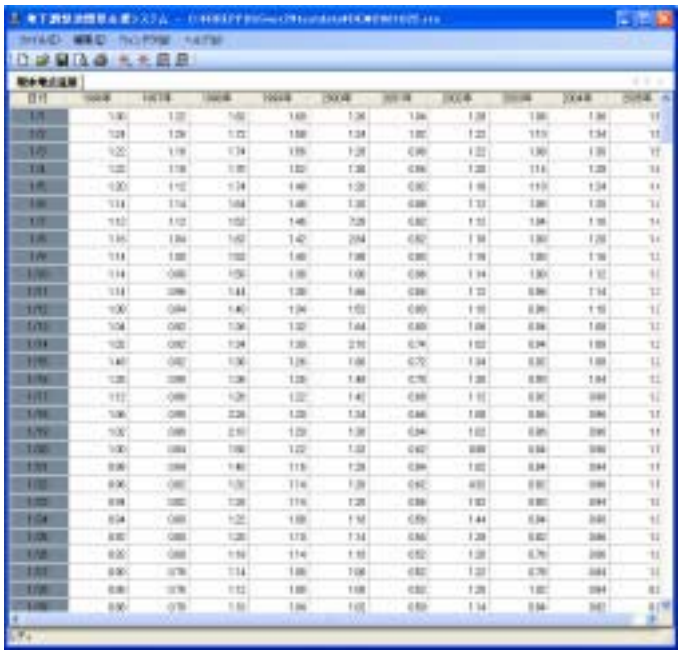
② システム：データ貼付け範囲（矩形）を指示

③ システム：編集(E)→矩形貼付け(P)

設定データで設定した入力年分の流量のデータを入力してください。入力後適用ボタンを押すと算定結果を見ることができます。

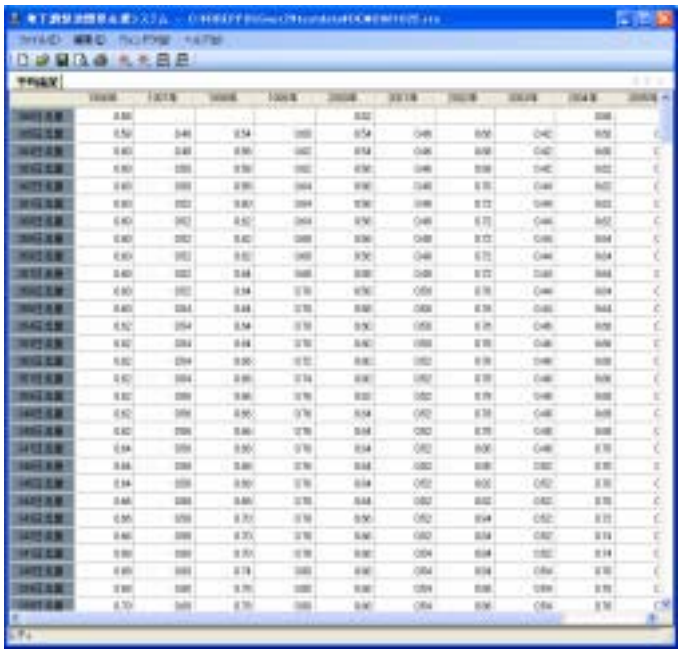
[算定結果]

・取水地点流量



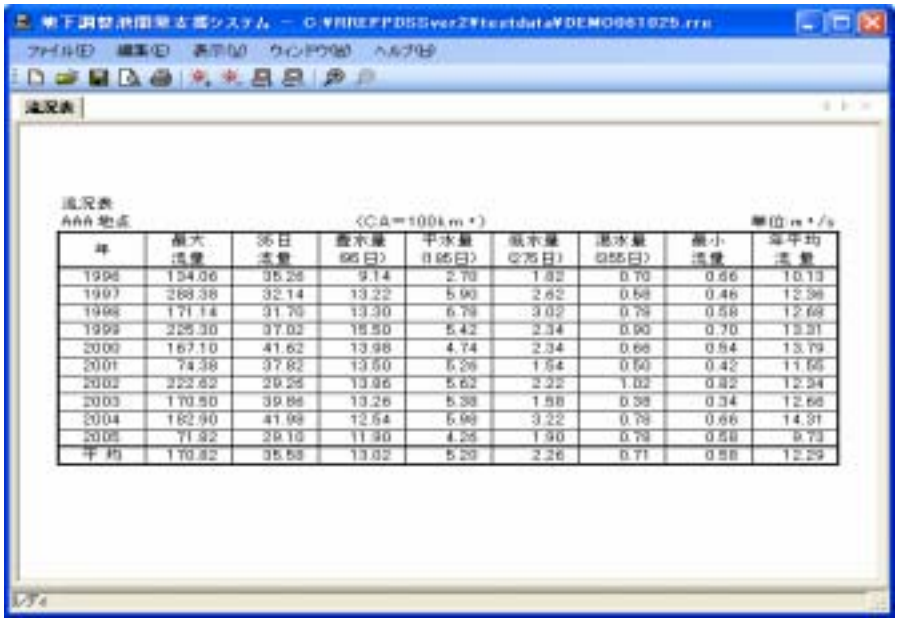
取水地点流量への換算のデータを表示します。

・平均流況



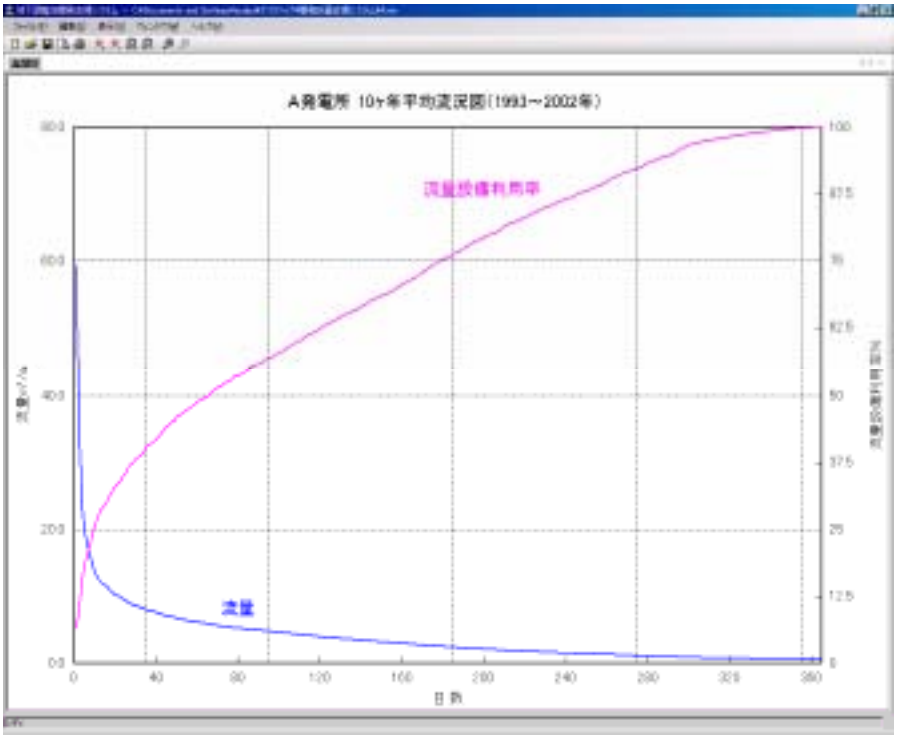
流量の小さいものから順番に並び替え平均流量の表を表示します。

・流況表



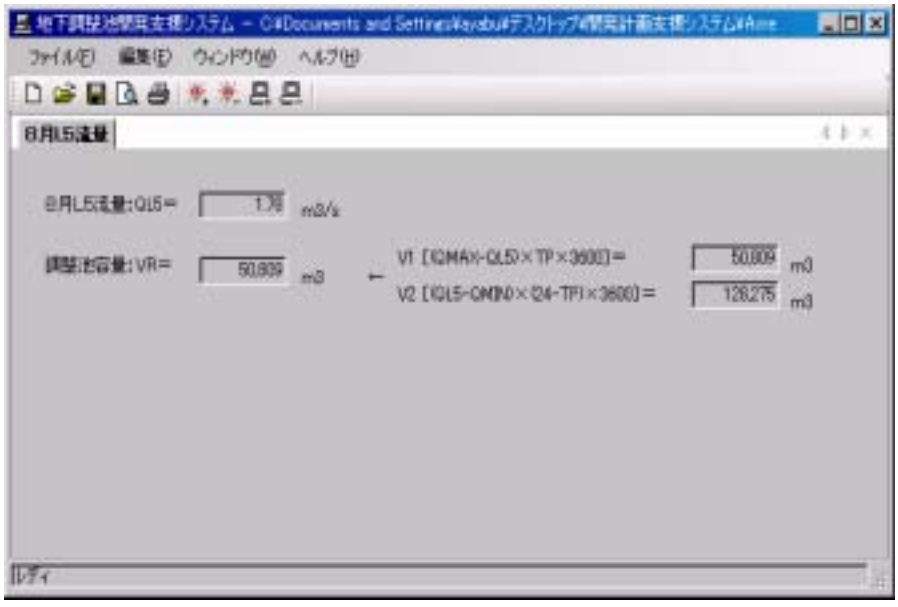
流況表を表示します。

・流況図



流況図を表示します。

・８月Ｌ５流量



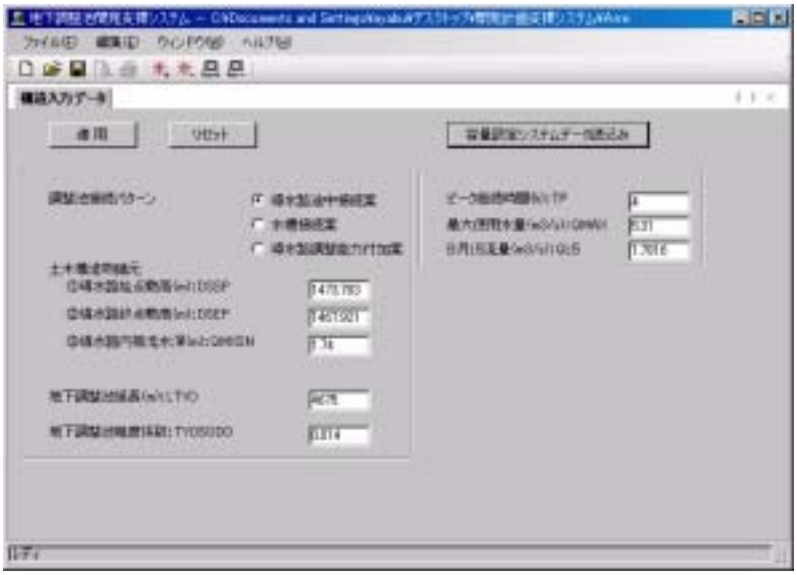
８月Ｌ５流量と調整池容量（V1 と V2 いずれか小さい方で決定）の結果を表示します。

１１．地下調整池構造設定システム

[入力データ]

・構造入力データ

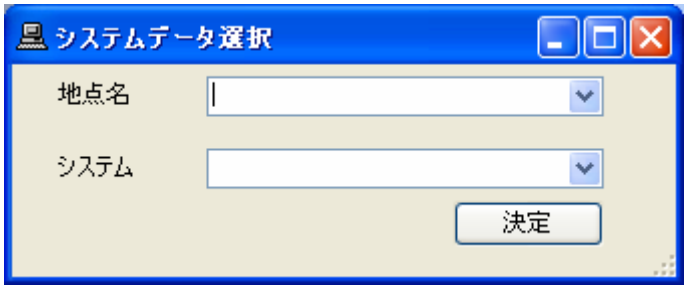
※調整池接続パターンの選定は、「マニュアル：2.2.3 接続パターンと流量制御方法参照」



※入力項目、構造の設定方法は、「マニュアル：3.2.2 地下調整池構造の設定参照」

まず調整池接続パターンを選んでください。接続パターンによって土木構造物諸元の入力項目が変わりますので注意してください。全ての入力項目に入力してください。入力後適用を押すと算定結果が表示できるようになります。

なお、容量設定システムデータ読込みボタンを押すと以下に表示するダイアログが表示されます。



地点名を選択するとその地点にあるシステムが選択できます。ここでは地下調整池容量設定システムを選択してください。決定ボタンを押すと選択したシステムのピーク継続時間、最大使用水量、８月Ｌ５流量のデータが入力されます。

[算定結果１]

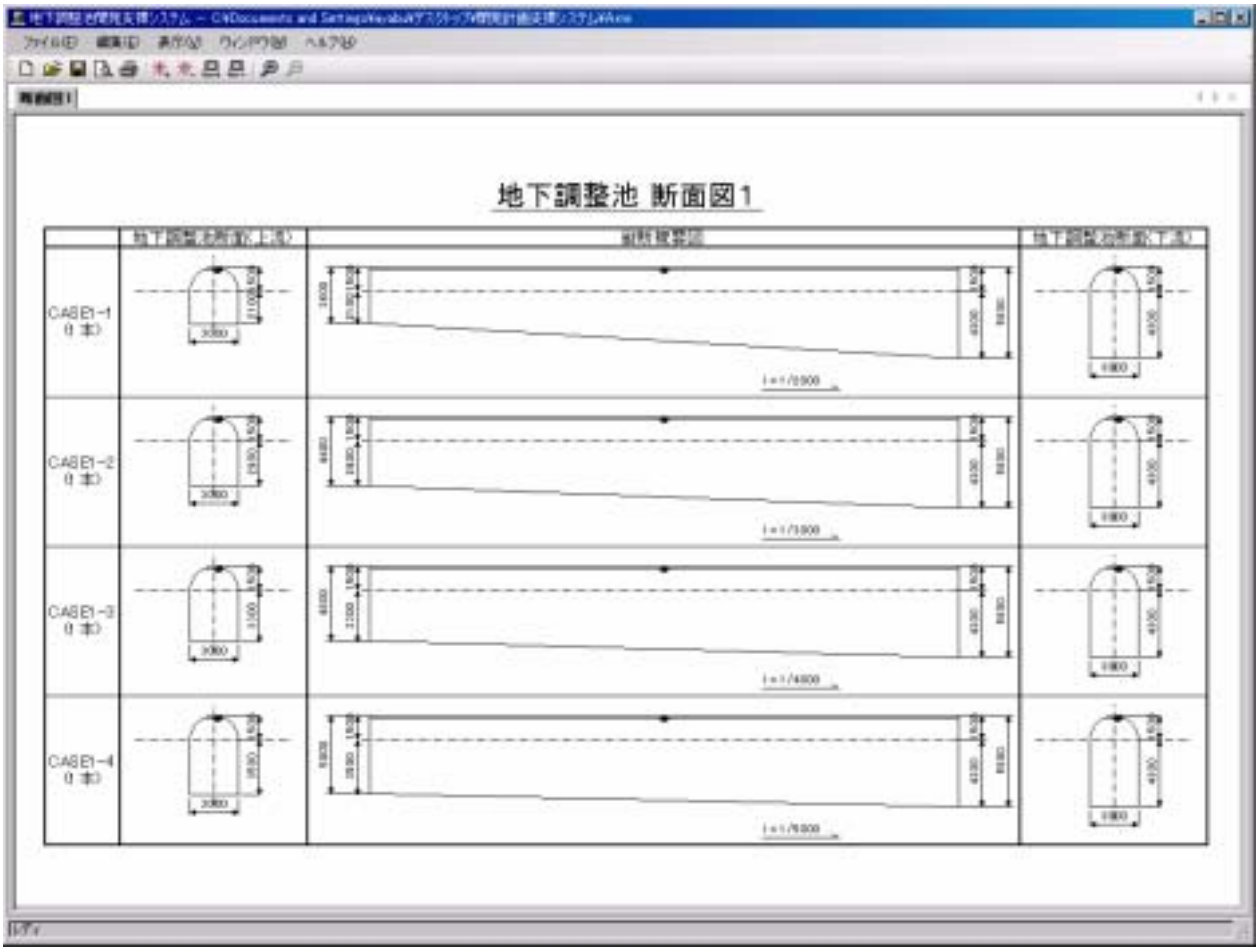
・断面データ１（ピーク継続時間を満足するトンネル本数が最小である断面諸元）

トンネル構造算出結果１

項目		小断面 CASE 1-1	小断面 CASE 1-2	小断面 CASE 1-3	小断面 CASE 1-4
トンネル幅	B(m)	3.0	3.0	3.0	3.0
トンネル勾配	I	1/2000	1/3000	1/4000	1/5000
		0.000500	0.000333	0.000250	0.000200
トンネル延長	L(m)	4,675	4,675	4,675	4,675
河川流入量	Qin(m^3/s)	1.782	1.782	1.782	1.782
ピーク時供給量	Qout(m^3/s)	5.310	5.310	5.310	5.310
上流水深	H1(m)	3.524	4.304	4.693	4.927
初期容量	V(m^3)	65,823	71,287	74,019	75,658
粗度係数	n	0.014	0.014	0.014	0.014
等流水深	Ho(i)(m)	0.636	0.731	0.808	0.874
	Ho(o)(m)	1.381	1.607	1.794	1.955
貯水容量	Vi(m^3)	8,923	10,254	11,331	12,252
	Vo(m^3)	19,366	22,543	25,154	27,415
T①	(sec)	16,126	17,298	17,767	17,970
T②	(sec)	13,167	13,815	13,849	13,673
③ To'	(hr)	4.068	4.321	4.391	4.395
許容トンネル高(m)		3.400	3.400	3.400	3.400
上流トンネル高(m)		3.600	4.400	4.800	5.000
上流トンネル高(m)の変更		3.600	4.400	4.800	5.000
下流トンネル高(m)		5.800	5.800	5.800	5.800
下流トンネル高(m)の変更		5.800	5.800	5.800	5.800
トンネル諸元	上流平均断面積(m^2)	9.83	12.23	13.43	14.03
	下流平均断面積(m^2)	16.43	16.43	16.43	16.43
	延長(m)	4,675.00	4,675.00	4,675.00	4,675.00
	箇所(本)	1	1	1	1
	容量(m^3)	61,402.81	67,012.81	69,817.81	71,220.31

トンネル構造算出結果の表を表示します。

・断面図１（断面データ１の模式図を表示する）



地下調整池断面図を表示します。

[算定結果２]

断面データ２、断面図２ともに計算結果が２パターンない場合は表示できません。

（断面データ １ の結果よりも、トンネル本数を １ 本多くした場合の断面諸元、断面図を示す。）

これらの中から、「工事費算定システム」を組み合わせ利用することにより、ピーク継続時間を満足する経済的な諸元を決定する。

１２．工事費算定システム

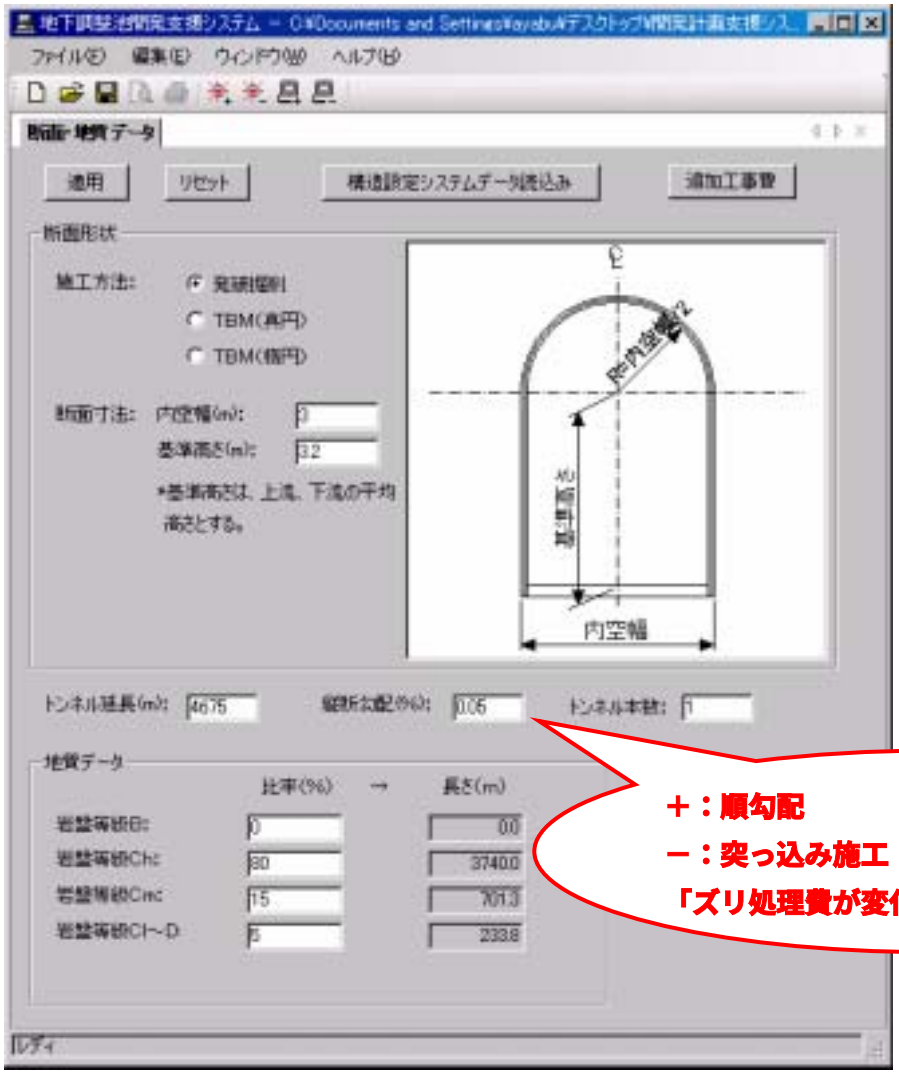
※詳細は、「巻末資料：工事費算定システム内容」参照

[入力データ]

・初期設定値

支保構造諸元、積算用施工能力諸元、単価の３つがあります。すでに初期値が入力された状態なので基本的には入力する必要はありません。値を変更したいときは入力して適用ボタンを押してください。

・断面・地質データ



※工事費は、新技術導入によるコスト低減・工期短縮効果を考慮したものである。（マニュアル：第４章施工参照）

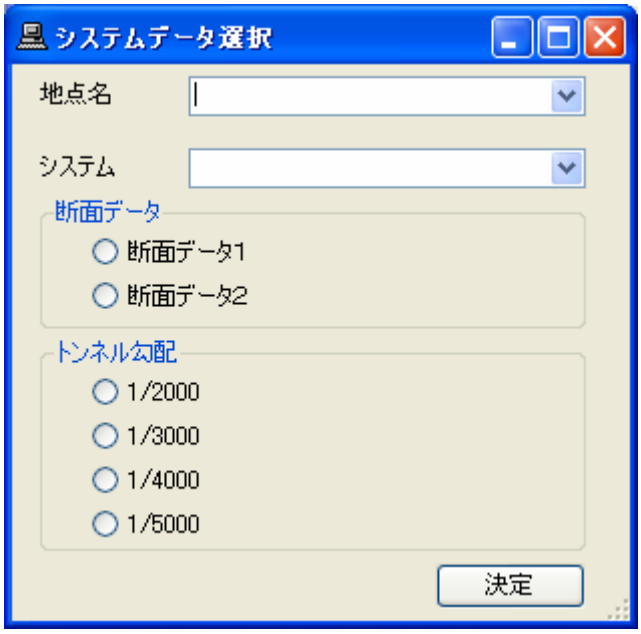
※断面形状については、構造設定システムの結果を基に設定または任意入力する。

※地質データについては、トンネル全長に対する岩盤等級の比率を入力する。

＋：順勾配
－：突っ込み施工
「ズリ処理費が変化する」：巻末資料３参照

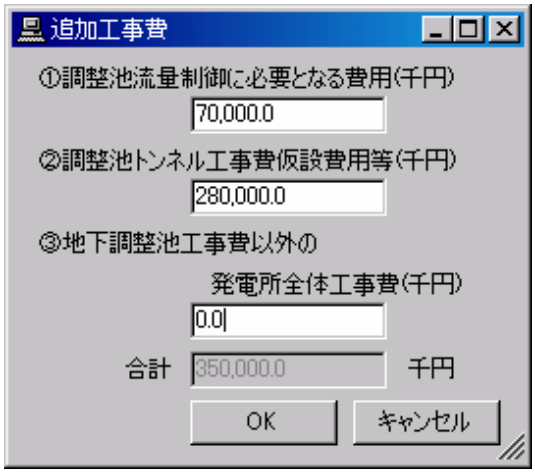
まず施工方法を選んでください。施工方法によって断面寸法の入力項目が変わりますので注意してください。全ての入力項目に入力してください。入力後適用ボタンを押すと算定結果が表示できるようになります。

なお、構造設定システムデータ読込みボタンを押すと以下に表示するダイアログが表示されます。



地点名を選択するとその地点にあるシステムが選択できます。ここでは地下調整池構造設定システムを選択してください。断面データとトンネル勾配を選択し決定ボタンをおしてください。決定ボタンを押すと選択したシステムのトンネル延長、トンネル本数、発破掘削の場合基準高さのデータが入力されます。

追加工事費ボタンを押すと以下に表示するダイアログが表示されます。

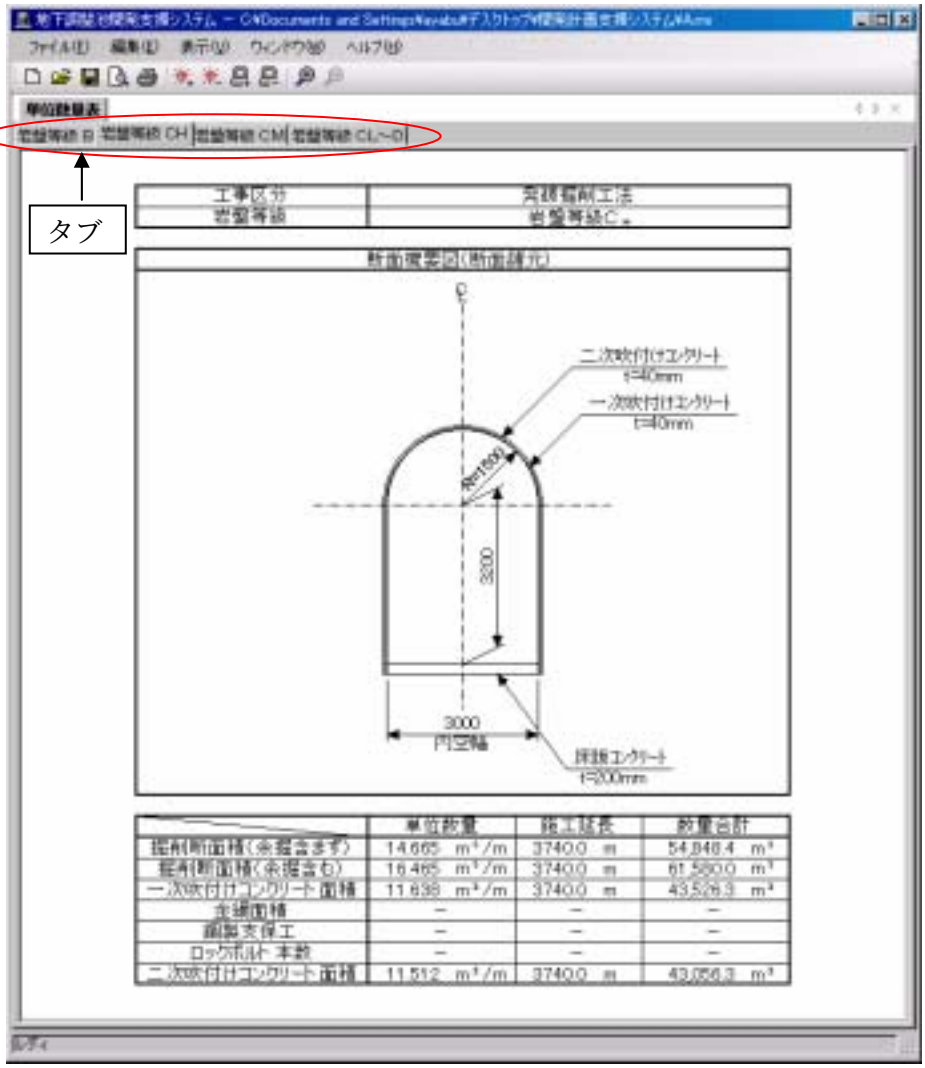


※追加工事費については、「マニュアル：5.1 工事費と工期の算出について」参照

①調整池流量制御に必要となる費用と②調整池トンネル工事仮設費用等と③地下調整池工事費以外の発電所全体工事費を入力して OK ボタンを押してください。

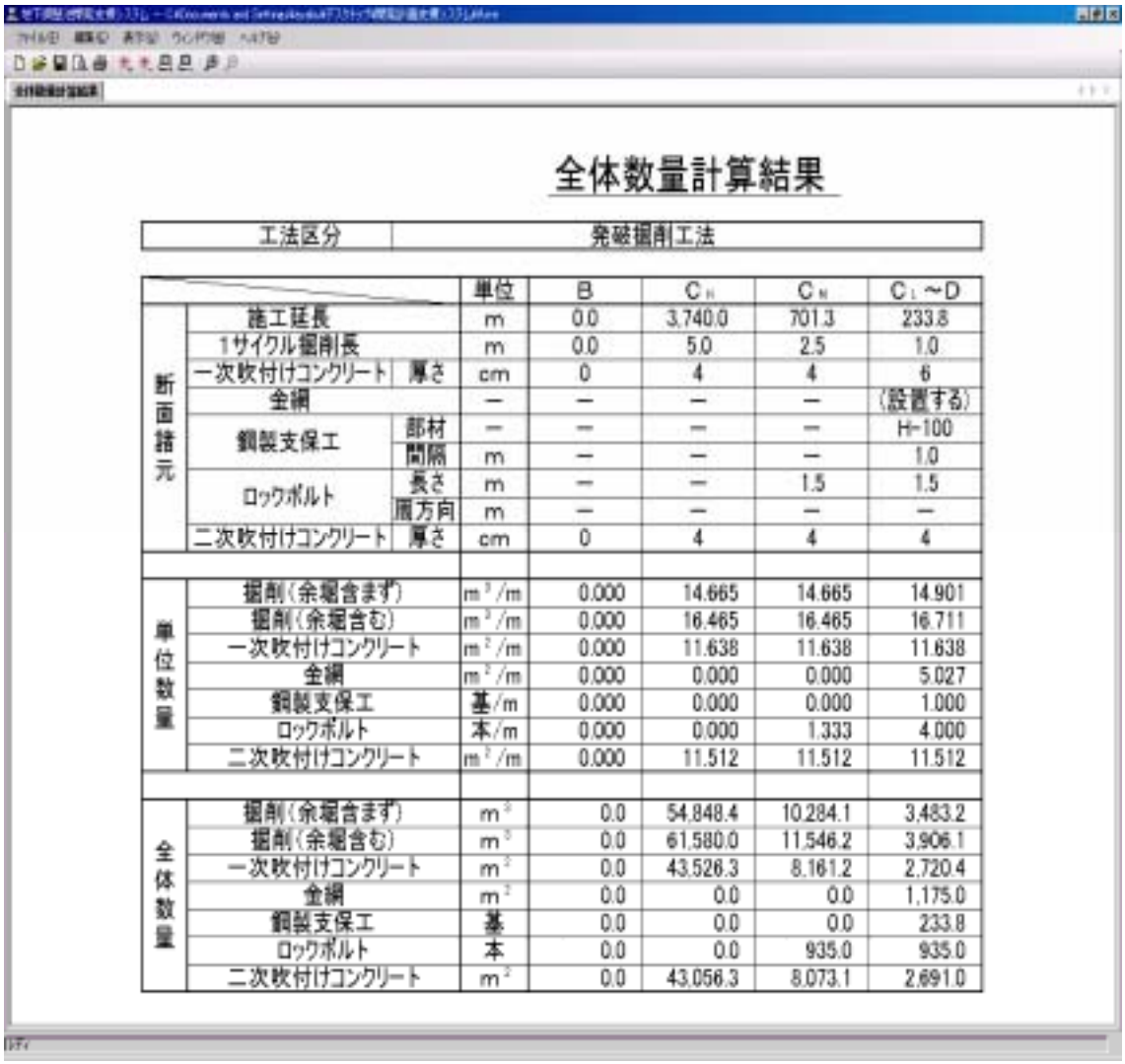
[算定結果]

・単位数量



単位数量の結果を表示します。タブによって表示を切り替えられます。

・全体数量

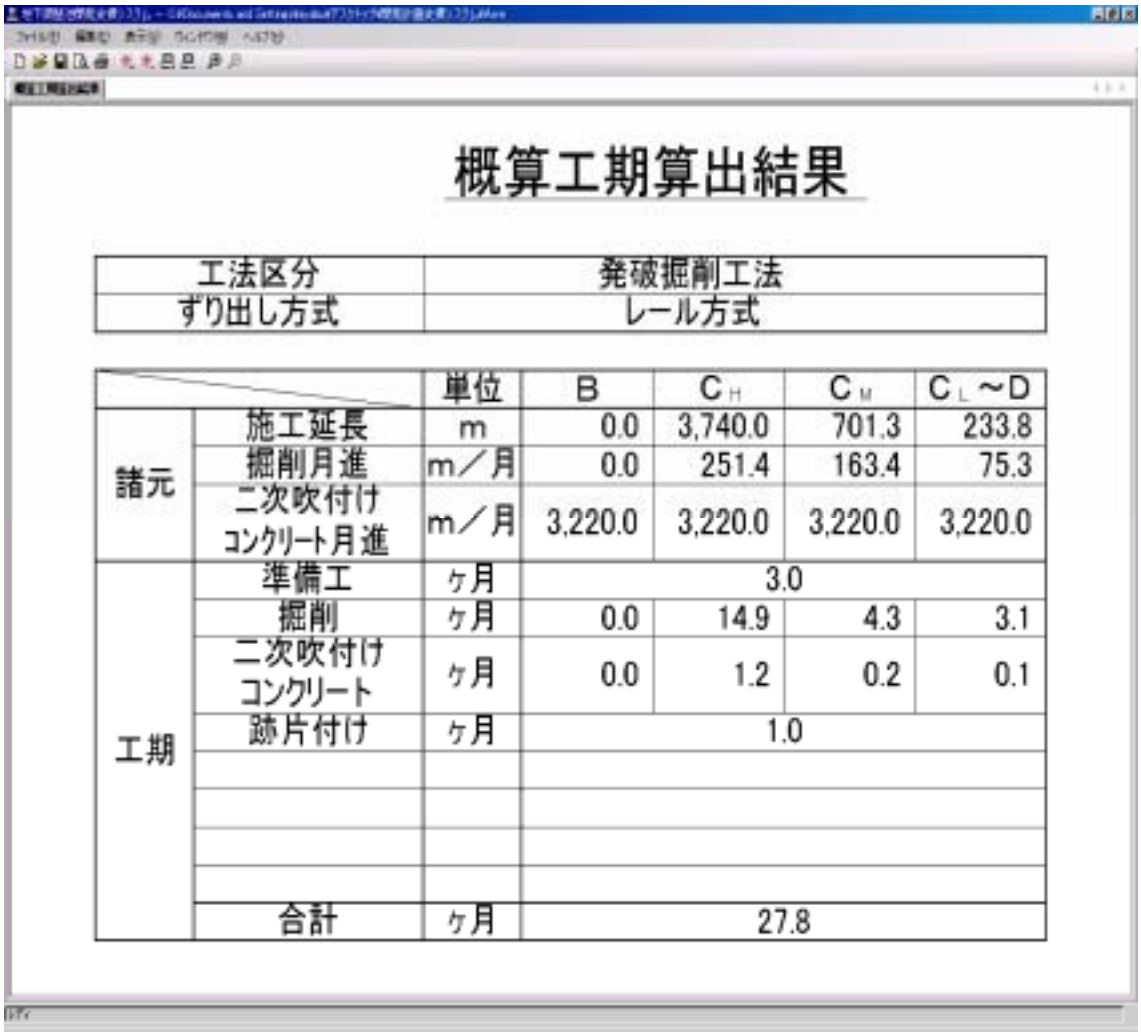


全体数量計算結果

工法区分			発破掘削工法			
		単位	B	C_H	C_M	C_L～D
断面諸元	施工延長	m	0.0	3,740.0	701.3	233.8
	1サイクル掘削長	m	0.0	5.0	2.5	1.0
	一次吹付けコンクリート 厚さ	cm	0	4	4	6
	金網	—	—	—	—	(設置する)
	鋼製支保工 部材	—	—	—	—	H-100
	鋼製支保工 間隔	m	—	—	—	1.0
	ロックボルト 長さ	m	—	—	1.5	1.5
	ロックボルト 周方向	m	—	—	—	—
	二次吹付けコンクリート 厚さ	cm	0	4	4	4
単位数量	掘削(余堀含まず)	m^3/m	0.000	14.665	14.665	14.901
	掘削(余堀含む)	m^3/m	0.000	16.465	16.465	16.711
	一次吹付けコンクリート	m^2/m	0.000	11.638	11.638	11.638
	金網	m^2/m	0.000	0.000	0.000	5.027
	鋼製支保工	基/m	0.000	0.000	0.000	1.000
	ロックボルト	本/m	0.000	0.000	1.333	4.000
	二次吹付けコンクリート	m^2/m	0.000	11.512	11.512	11.512
全体数量	掘削(余堀含まず)	m^3	0.0	54,848.4	10,284.1	3,483.2
	掘削(余堀含む)	m^3	0.0	61,580.0	11,546.2	3,906.1
	一次吹付けコンクリート	m^2	0.0	43,526.3	8,161.2	2,720.4
	金網	m^2	0.0	0.0	0.0	1,175.0
	鋼製支保工	基	0.0	0.0	0.0	233.8
	ロックボルト	本	0.0	0.0	935.0	935.0
	二次吹付けコンクリート	m^2	0.0	43,056.3	8,073.1	2,691.0

全体数量の計算結果を表示します。

・積算工期



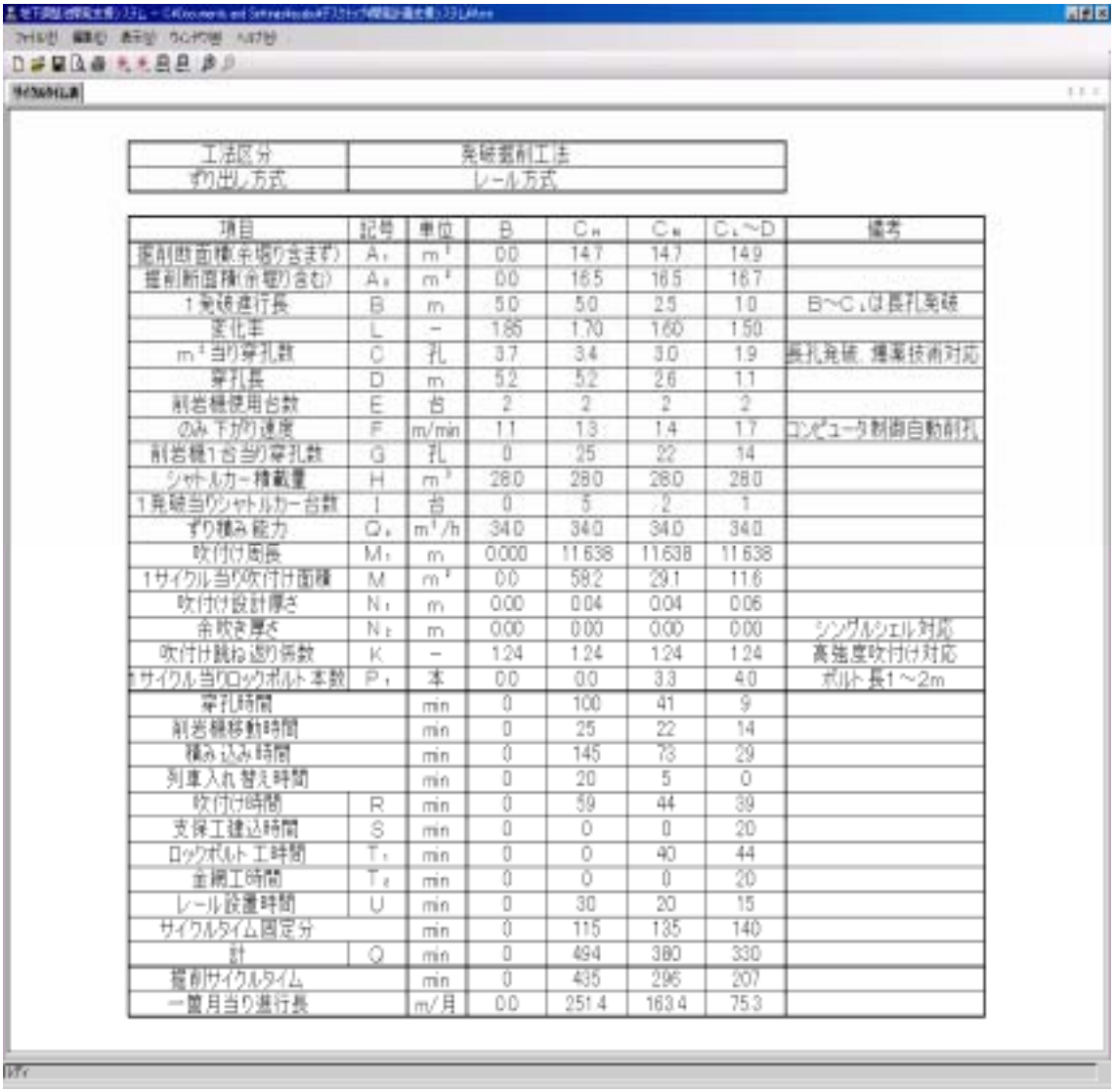
概算工期算出結果

工法区分	発破掘削工法
ずり出し方式	レール方式

		単位	B	C_H	C_M	C_L～D
諸元	施工延長	m	0.0	3,740.0	701.3	233.8
	掘削月進	m／月	0.0	251.4	163.4	75.3
	二次吹付けコンクリート月進	m／月	3,220.0	3,220.0	3,220.0	3,220.0
工期	準備工	ヶ月	3.0			
	掘削	ヶ月	0.0	14.9	4.3	3.1
	二次吹付けコンクリート	ヶ月	0.0	1.2	0.2	0.1
	跡片付け	ヶ月	1.0			
	合計	ヶ月	27.8			

概算工期の算出結果を表示します。

・サイクルタイム表



工法区分	発破掘削工法
ずり出し方式	レール方式

項目	記号	単位	B	C_H	C_M	C_L～D	備考
掘削断面積(余堀り含まず)	A_1	m^2	0.0	14.7	14.7	14.9	
掘削断面積(余堀り含む)	A_2	m^2	0.0	16.5	16.5	16.7	
1発破進行長	B	m	5.0	5.0	2.5	1.0	B～C_Lは長孔発破
変化率	L	－	1.85	1.70	1.60	1.50	
m^3当り穿孔数	C	孔	3.7	3.4	3.0	1.9	長孔発破、爆薬技術対応
穿孔長	D	m	5.2	5.2	2.6	1.1	
削岩機使用台数	E	台	2	2	2	2	
のみ下がり速度	F	m/min	1.1	1.3	1.4	1.7	コンピュータ制御自動削孔
削岩機1台当り穿孔数	G	孔	0	25	22	14	
シャトルカー積載量	H	m^3	28.0	28.0	28.0	28.0	
1発破当りシャトルカー台数	I	台	0	5	2	1	
ずり積み能力	Q_1	m^3/h	34.0	34.0	34.0	34.0	
吹付け周長	M_1	m	0.000	11.638	11.638	11.638	
1サイクル当り吹付け面積	M	m^2	0.0	58.2	29.1	11.6	
吹付け設計厚さ	N_1	m	0.00	0.04	0.04	0.06	
余吹き厚さ	N_2	m	0.00	0.00	0.00	0.00	シングルシェル対応
吹付け跳ね返り係数	K	－	1.24	1.24	1.24	1.24	高強度吹付け対応
1サイクル当りロックボルト本数	P_1	本	0.0	0.0	3.3	4.0	ボルト長1～2m
穿孔時間		min	0	100	41	9	
削岩機移動時間		min	0	25	22	14	
積み込み時間		min	0	145	73	29	
列車入れ替え時間		min	0	20	5	0	
吹付け時間	R	min	0	59	44	39	
支保工建込時間	S	min	0	0	0	20	
ロックボルト工時間	T_1	min	0	0	40	44	
金網工時間	T_2	min	0	0	0	20	
レール設置時間	U	min	0	30	20	15	
サイクルタイム固定分		min	0	115	135	140	
計	Q	min	0	494	380	330	
掘削サイクルタイム		min	0	435	296	207	
一箇月当り進行長		m/月	0.0	251.4	163.4	75.3	

サイクルタイム表を表示します。

・概算工費

工種	単位	数量	単価 (円)	工費 (千円)	適用
① 発破掘削工法直接工事費				888,953	
トンネル掘削				434,729	
B	m3	0	0	0	
C_H	m3	61,579	5,235	322,391	
C_M	m3	11,546	6,530	75,392	
C_L	m3	3,906	9,458	36,946	
一次吹付けコンクリート				166,356	
B	m2	0		0	
C_H	m2	43,526	2,703	117,651	
C_M	m2	8,161	3,582	29,232	
C_L	m2	2,720	7,158	19,472	
ロックボルト工				14,059	
B	本	0		0	
C_H	本	0		0	
C_M	本	926	8,318	7,700	
C_L	本	935	7,657	7,159	
鋼製支保工				6,124	
C_L	基	234	26,197	6,124	
金網工				940	
C_L	m2	1,175	800	940	
ずり処理(坑外運搬、捨土)				115,547	
B	m3	0	1,500	0	
C_H	m3	61,579	1,500	92,369	
C_M	m3	11,546	1,500	17,319	
C_L	m3	3,906	1,500	5,859	
二次吹付けコンクリート				80,273	
B	m2	0	1,492	0	
C_H	m2	43,056	1,492	64,219	
C_M	m2	8,073	1,492	12,041	
C_L	m2	2,691	1,492	4,014	
底版コンクリート				70,125	
	m2	14,025	5,000	70,125	
② 運転経費				190,259	
仮設備費運転経費	式	1	190,259,000	190,259	
③ 仮設備費				354,255	
仮設備費	式	1	354,255,000	354,255	
純工事費(①+②+③)				1,433,467	
④ 共通仮設費				66,843	7.52 %
⑤ 現場管理費				373,926	26.09 %
間接工事費(④+⑤)				440,768	
工事原価(①+②+③+④+⑤)				1,874,235	
⑥ 一般管理費				145,137	7.74 %
⑦ 追加工事費				350,000	
工事価格(①+②+③+④+⑤+⑥+⑦)				2,369,372	千円
		1m当り工事費		507,000	円/m
		1m³当り工事費		30,800	円/m3

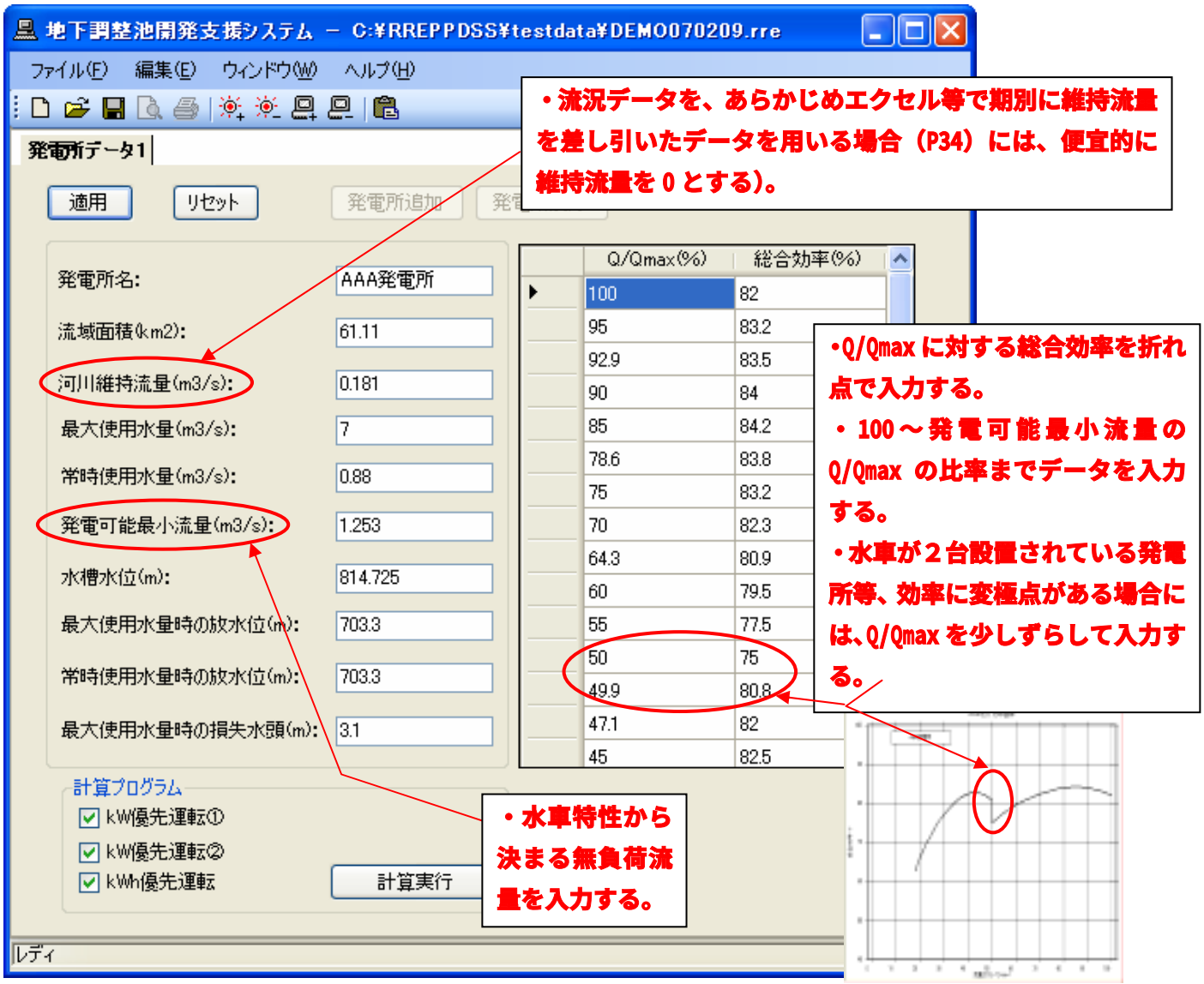
概算工事費内訳を表示します。

１３．運転パターン選定システム

※運転パターンの選定については、「マニュアル：3.3 調整池運転パターン」参照

[入力データ]

・発電所条件データ

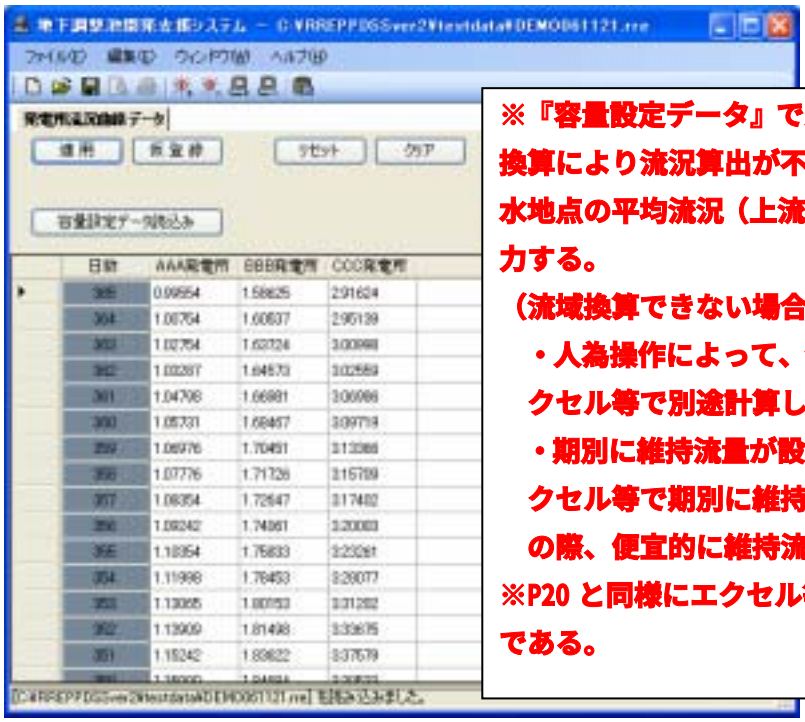


全ての入力項目に値を入力してください。入力後適用ボタンを押すと効率曲線の図が表示できるようになります。

発電所追加ボタンを押すと発電所条件データ２が入力できるようになり、発電所数を最大５つまで入力できるようになります。発電所削除ボタンを押すとその発電所のデータを削除できます。

計算プログラムを選択して計算実行を押すと選択された計算を実行します。ただし、発電所条件データ、発電所流況曲線データ、最適化パラメータ条件のデータが正しく入力されていないと実行できません。

・発電所流況曲線データ



※『容量設定データ』で入力した測水所データから、流域換算により流況算出が不可能な場合には、全ての発電所取水地点の平均流況（上流発電所地点取水量も含める）を入力する。

（流域換算できない場合の例）

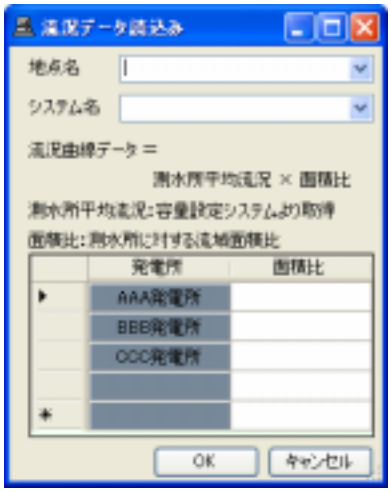
・人為操作によって、流量調整が行われている場合（エクセル等で別途計算しておく）

・期別に維持流量が設定されている場合（あらかじめエクセル等で期別に維持流量を差し引き整理しておく。その際、便宜的に維持流量を 0 とする（P33）。

※P20 と同様にエクセル等からデータの矩形貼付けが可能である。

発電所条件データで入力した発電所分の流況曲線データを入力してください。入力後適用ボタンを押すとデータが適用されます。発電所条件データの画面と同じく計算実行ボタンを押すと計算が実行されます。

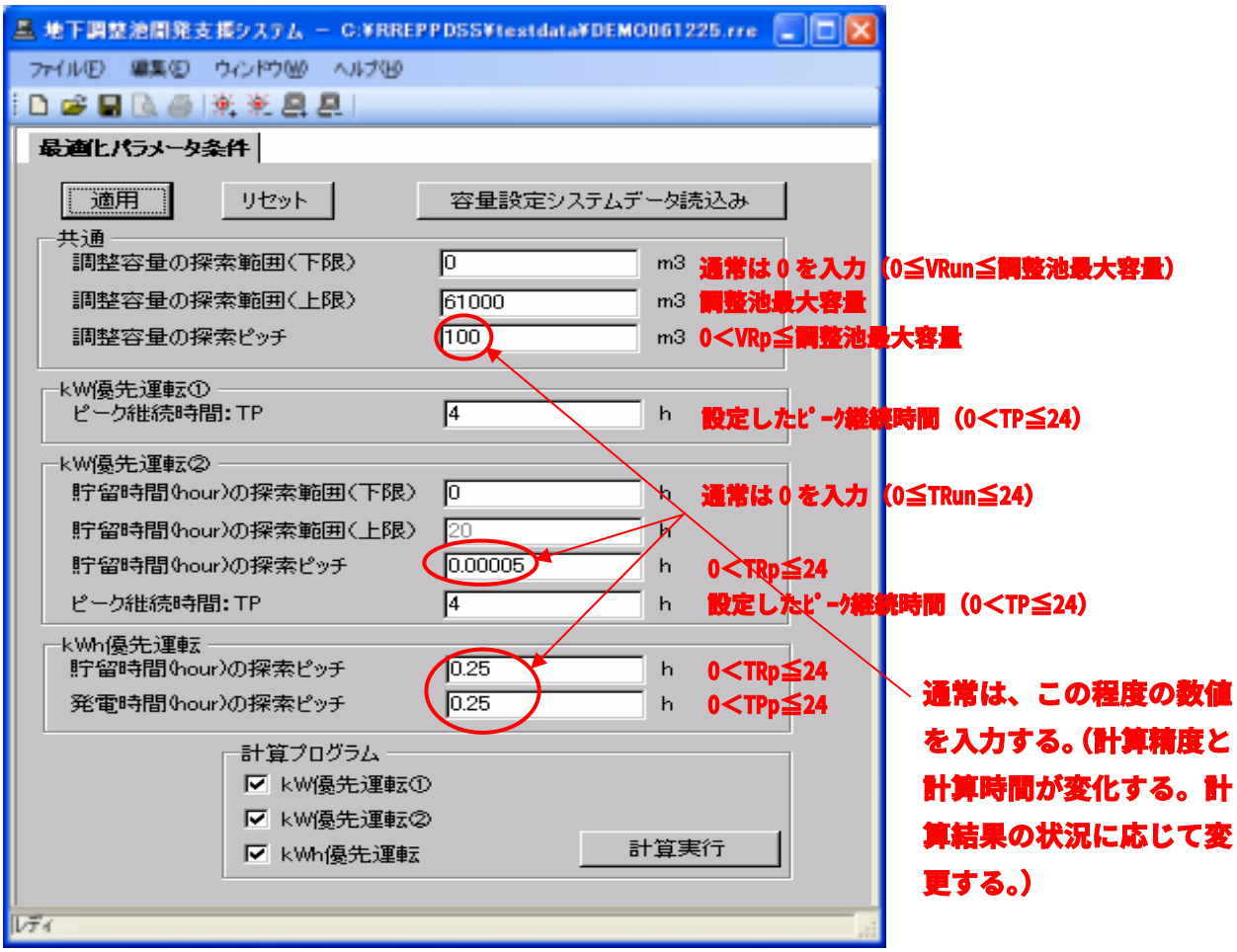
なお、容量設定データ読込みボタンを押すと以下に表示するダイアログが表示されます。



※『容量設定データ』で入力した測水所データから、全ての発電所の取水地点流況が流域換算で算出できる場合には、測水所流域面積に対する比率を入力する。

地点名を選択するとその地点にあるシステムが選択できます。ここでは地下調整池容量設定システムを選択してください。発電所ごとに面積比を入力し OK ボタンを押してください。選択したシステムのデータで流況曲線データを作成します。

・最適化パラメータ条件

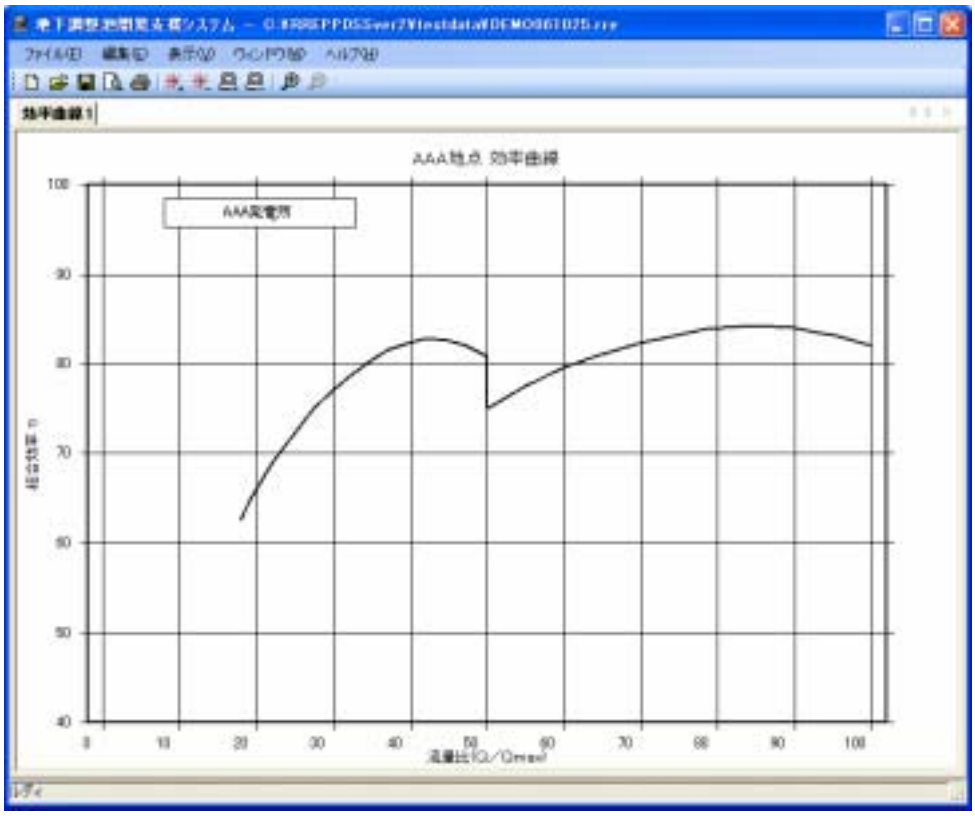


全ての入力項目に入力してください。入力後適用ボタンを押すとデータが適用されます。

なお、容量設定システムデータ読込みボタンを押すと以下に表示するダイアログが表示されます。

地点名を選択するとその地点にあるシステムが選択できます。ここでは地下調整池容量設定システムを選択してください。決定ボタンを押すと選択したシステムの調整池容量とピーク運転時間のデータが調整容量の探索範囲(上限)と発電時間(hour)の探索範囲(下限)に入力されます。

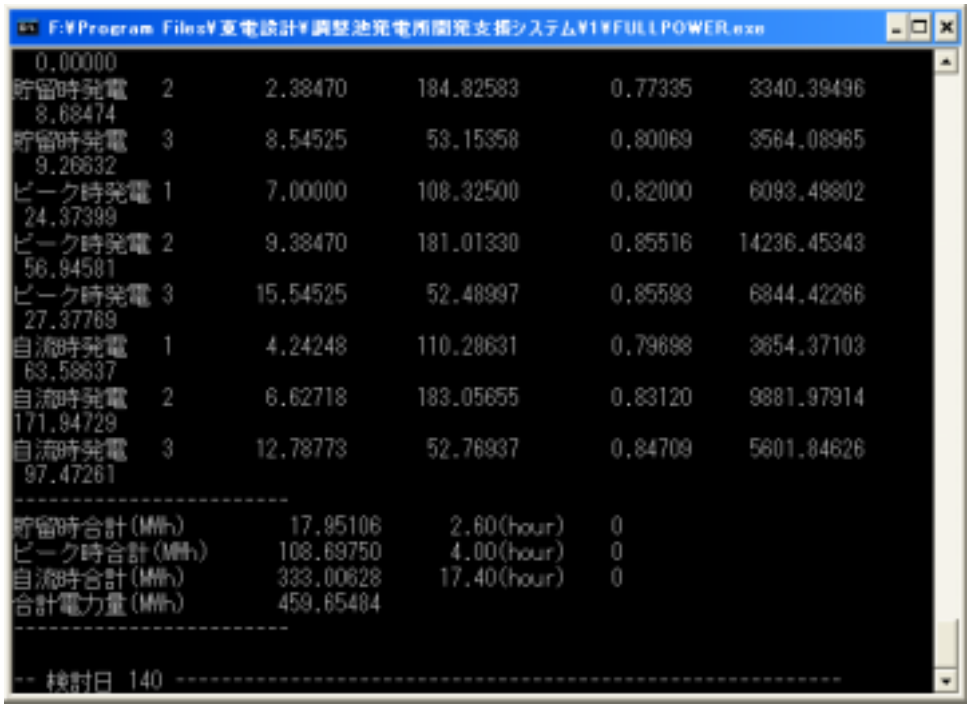
[効率曲線]



発電所条件データで入力されたデータでの効率曲線を表示します。

[算定結果]

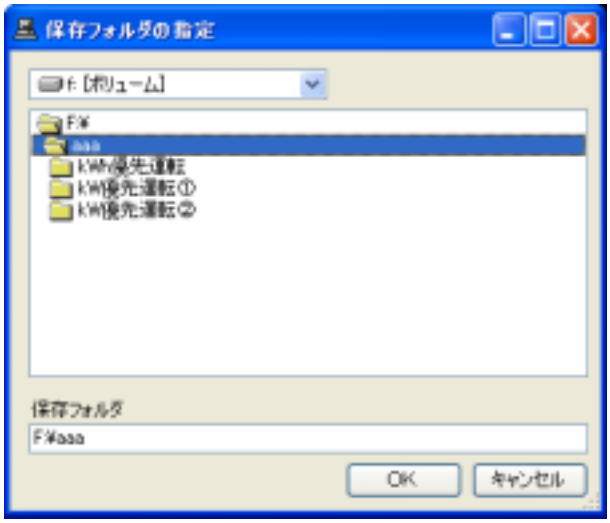
入力データで計算実行を押すと以下のように計算が実行されます。



計算が終了するとＥＮＤと表示されますので Enter キーを押してください。計算プログラムを３つ選んだ場合は３回同じように計算処理が行われます。

計算途中で終了したい場合は Ctrl+ｃで終了できます。

計算が終了すると算定データを保存するか聞かれます。はいを選択すると以下のように保存フォルダの指定ができますので保存したいフォルダを選択してください。新規にフォルダを作成したい場合は保存フォルダのところに直接フォルダ名を入力して下さい。



・運用別発電電力量の変化

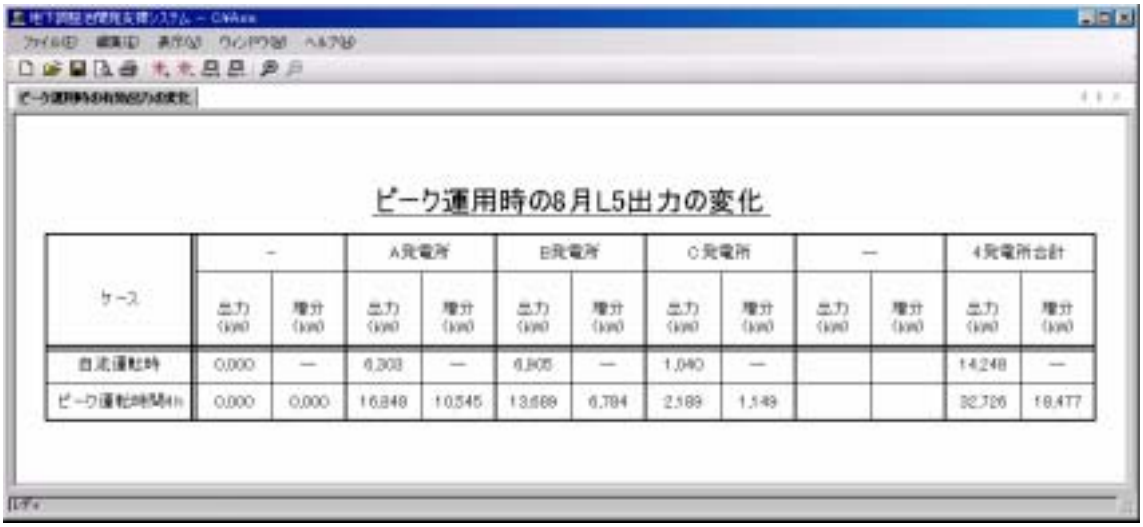
調整池運用別年間発電電力量の変化

運用方法	年間発電電力量(MWh)								
	—			A発電所			B発電所		
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転	0	—	—	93,609	—	—	112,178	—	—
kW優先運転①	0	0	—	94,964	1,355	1.45	111,933	-246	-0.22
kW優先運転②	0	0	—	95,213	1,604	1.71	112,969	791	0.71
kWh優先運転	0	0	—	95,462	1,853	1.98	114,936	2,758	2.46

運用方法	年間発電電力量(MWh)								
	C発電所						4発電所合計		
	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率	電力量	増分	増分比率
自流運転	17,990	—	—				223,777	—	—
kW優先運転①	18,085	94	0.53				224,981	1,204	0.54
kW優先運転②	18,077	87	0.48				226,260	2,483	1.11
kWh優先運転	18,133	143	0.80				228,531	4,754	2.12

調整池運用別年間発電電力量の変化の表を表示します。

・ピーク運用時の有効出力の変化

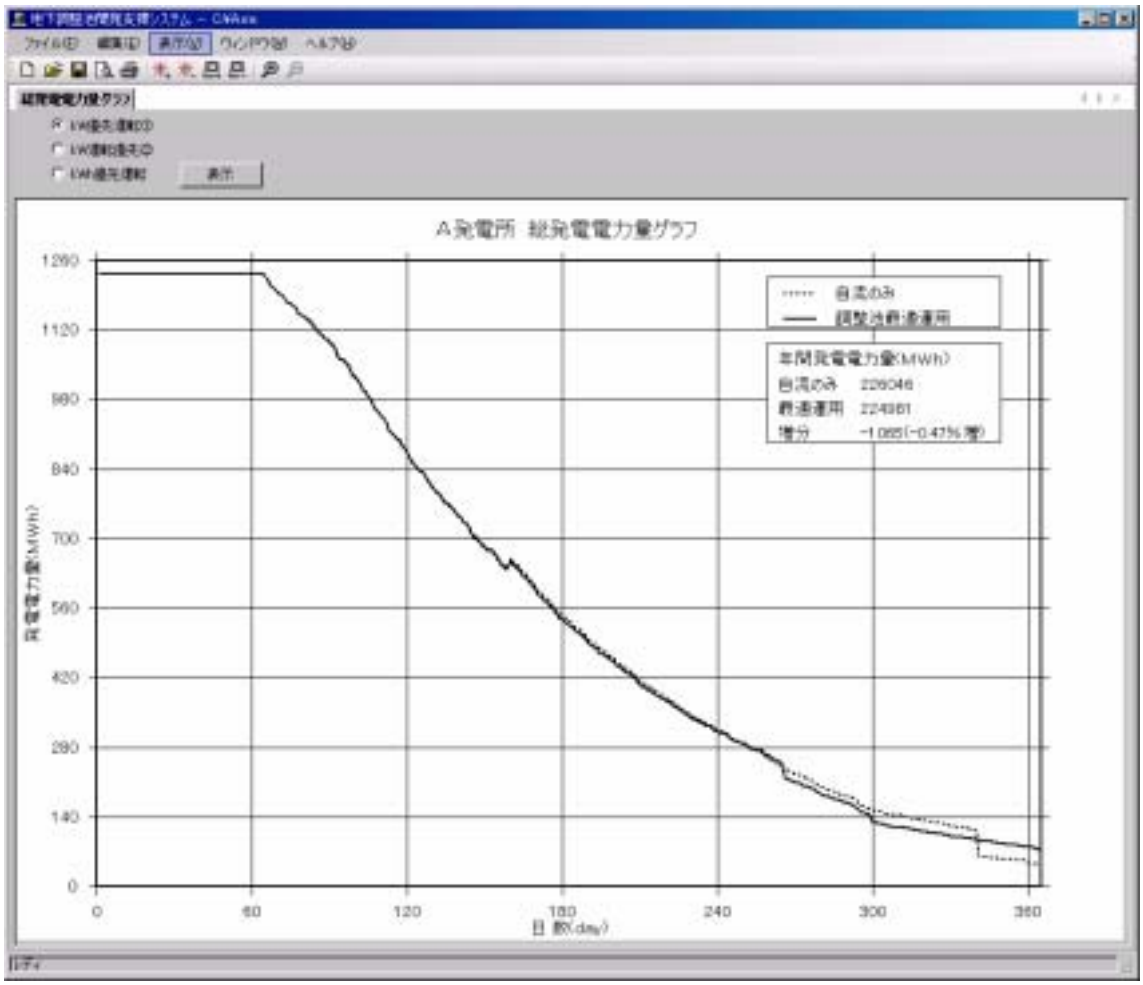


ピーク運用時の8月L5出力の変化

ケース	—		A発電所		B発電所		C発電所		—		4発電所合計	
	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)	出力(kW)	増分(kW)
自流運転時	0.000	—	6,303	—	6,805	—	1,040	—			14,248	—
ピーク運転時間4h	0.000	0.000	16,849	10,545	13,589	6,784	2,189	1,149			32,726	18,477

ピーク運用時の８月 L5 出力の変化の表を表示します。なお、『調整池容量設定システム』で調整池容量設定流量を設定している場合には、この流量相当日のピーク出力を、上記以外の場合には 275 日流量（低水量）相当時のピーク出力を表示します。

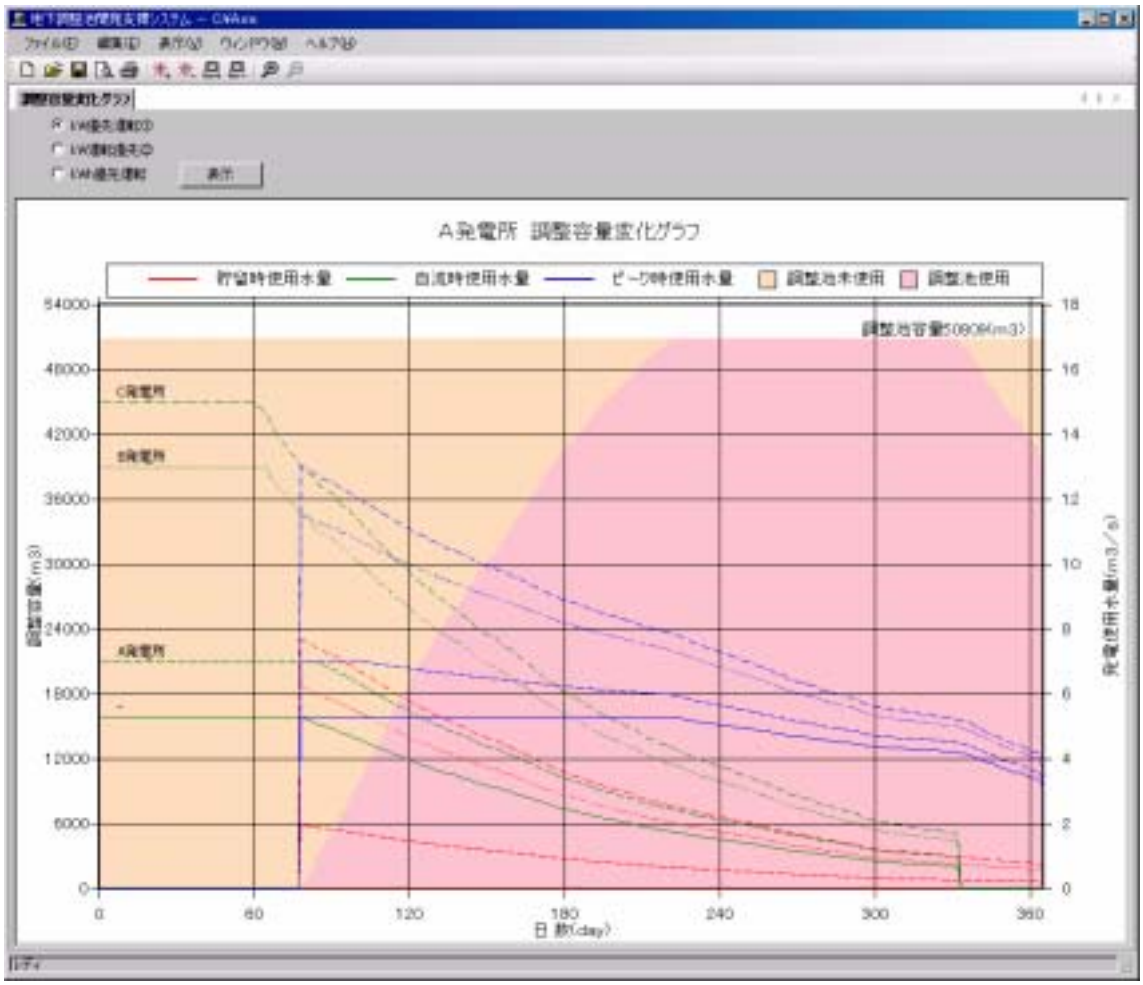
・総発電電力量グラフ



総発電電力量の図が表示されます。計算プログラムを選択して表示ボタンを押すと選択した計算プログラムでの結果が表示されます。

横軸に日数（検討日）、縦軸に日発電電力量(MWh)をとり、設定した運用条件での発電電力量変化を実線で示している。比較のため自流運転の場合の発電電力量変化を破線で示している。なお、グラフ中の右上には年間の発電電力量を数値で示している。

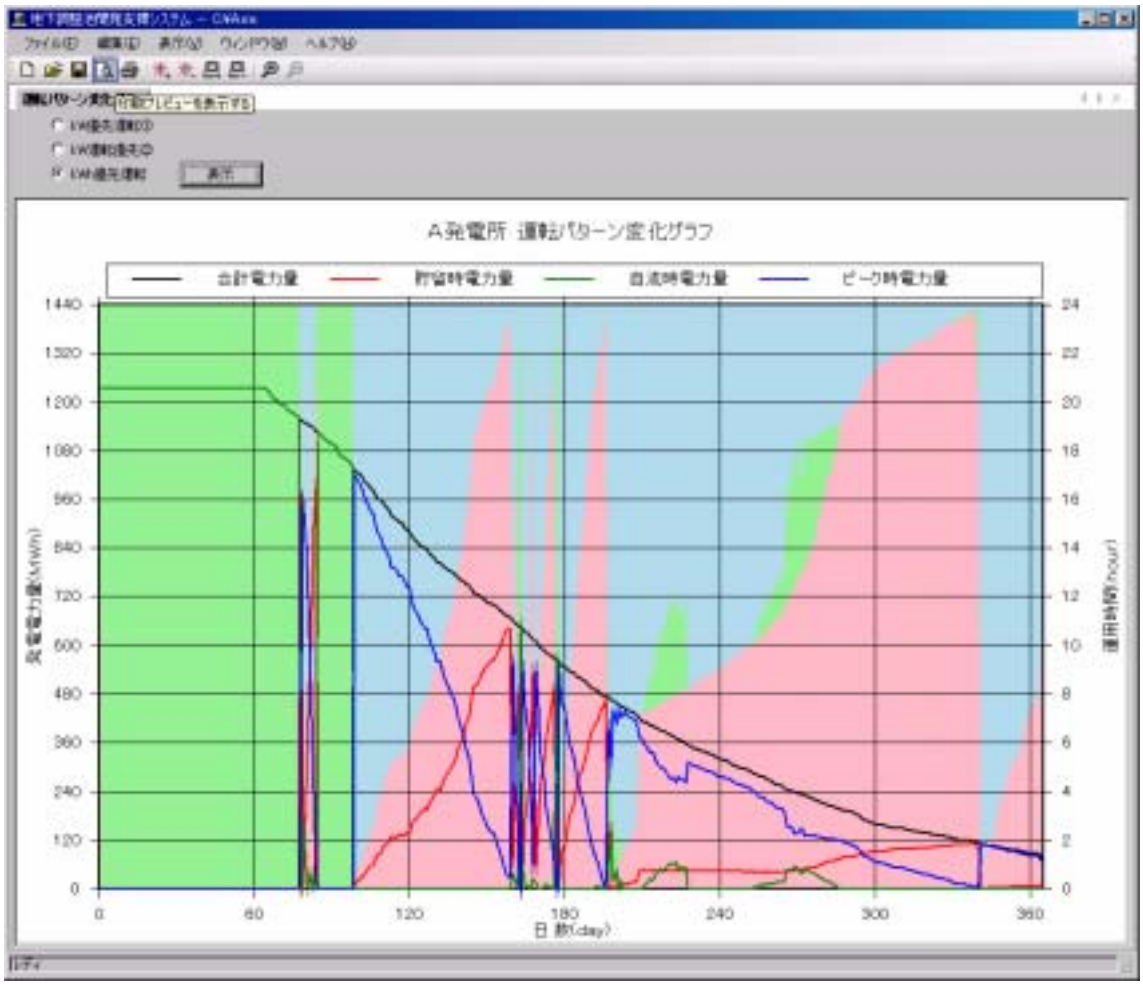
・調整容量変化グラフ



調整容量変化グラフの図を表示します。計算プログラムを選択して表示ボタンを押すと選択した計算プログラムでの結果が表示されます。

横軸に日数（検討日）をとり、淡オレンジおよび濃オレンジで塗りつぶされたグラフが左縦軸の調整容量の変化を表す。淡オレンジの部分は調整池未使用であり、濃オレンジの部分は調整池を使用していることを表している。また右縦軸は、発電に使用した水量(㎥/s)を示しており、線の種類を発電所毎に、線の色を運転モード毎に変えて表している。

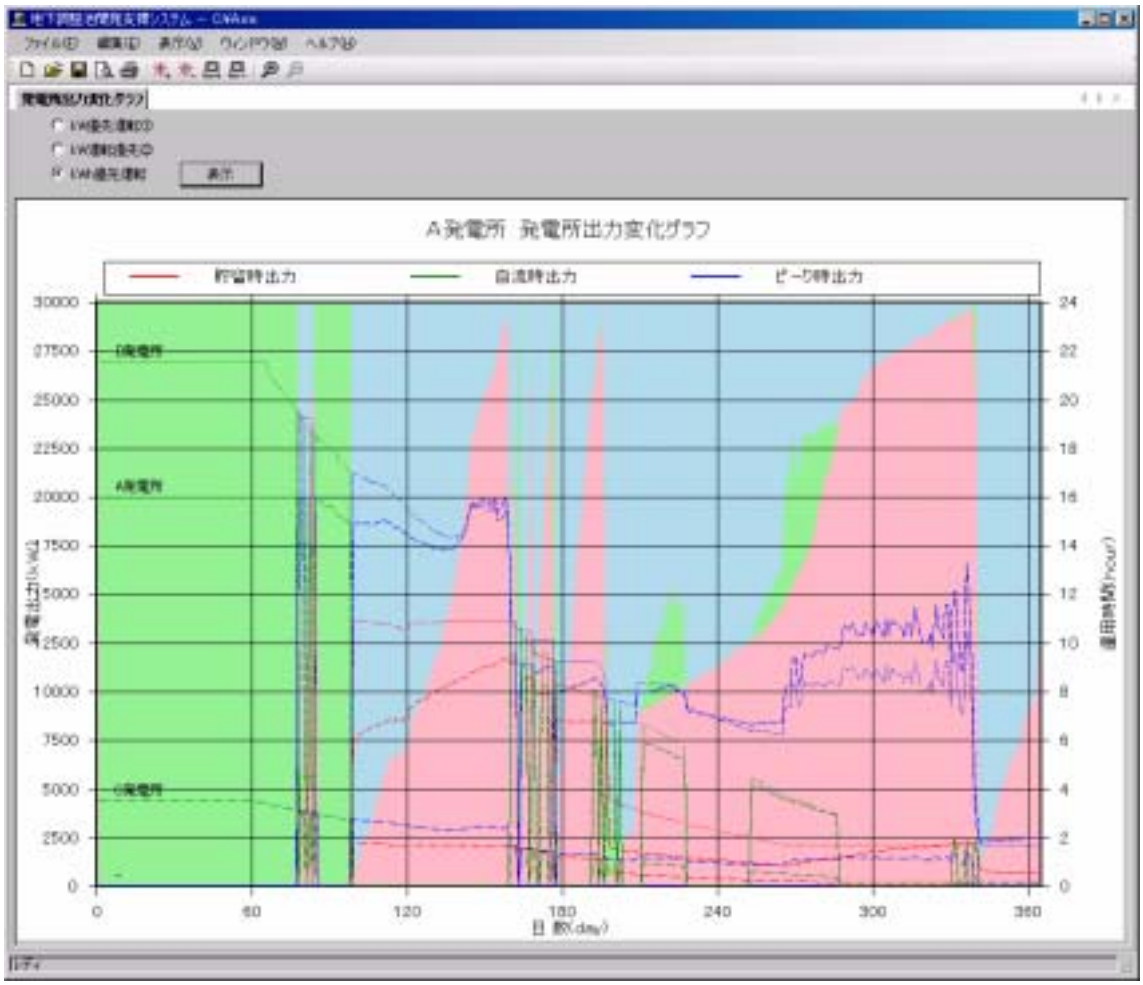
・運転パターン変化グラフ



運転パターン変化グラフの図を表示します。計算プログラムを選択して表示ボタンを押すと選択した計算プログラムでの結果が表示されます。

横軸に日数（検討日）をとり、緑、青、オレンジの３色で塗りつぶされたグラフが、右の縦軸で表される運用時間である。緑は自流運転時間、青はピーク運転時間、オレンジは貯留運転時間を表している。また左縦軸には日発電電力量(MWh)をとって、線の色を運転モード毎に変えて表している。

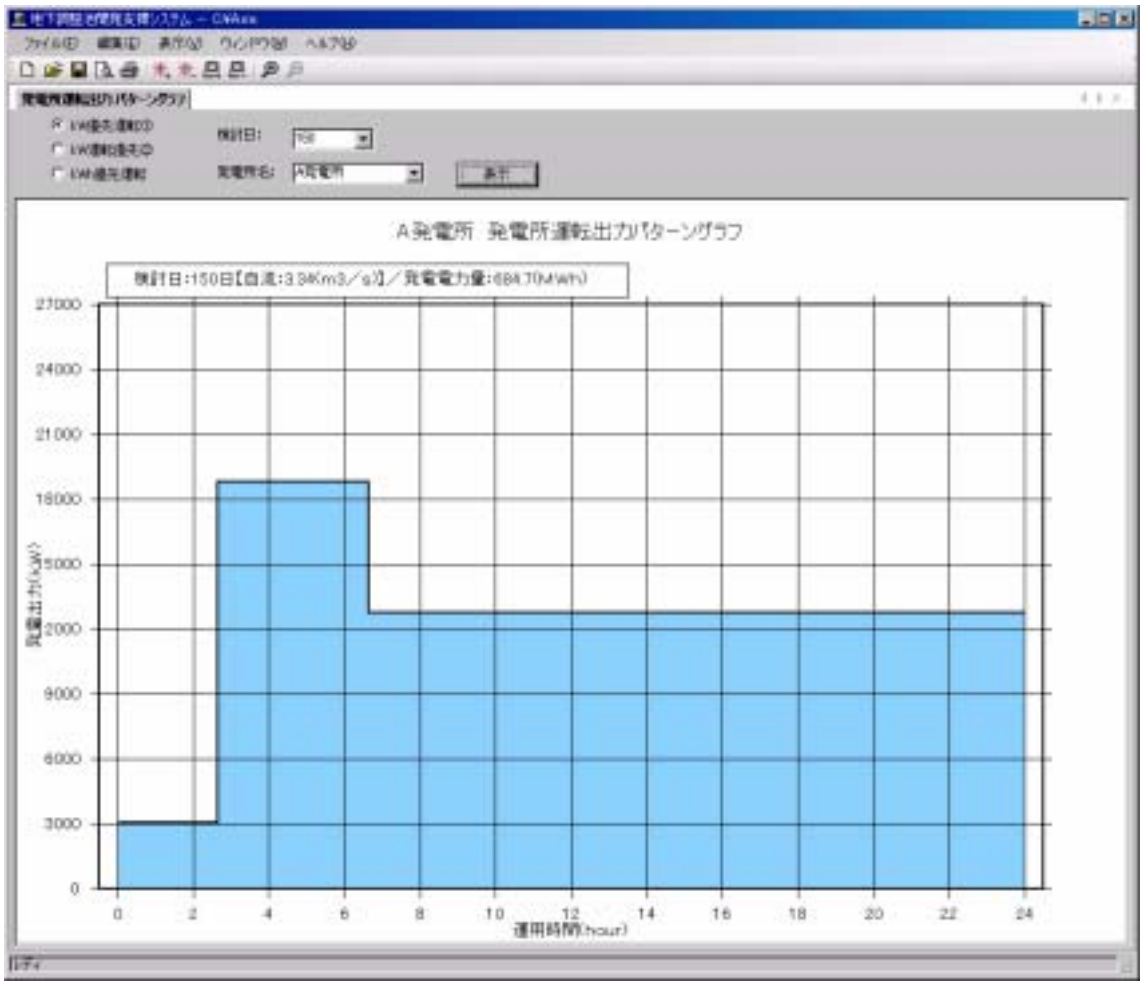
・発電所出力変化グラフ



発電所出力変化グラフの図を表示します。計算プログラムを選択して表示ボタンを押すと選択した計算プログラムでの結果が表示されます。

緑、青、オレンジの３色のグラフは、先と同様、運用時間を表している。左縦軸には発電出力(kW)をとって、線の種類を発電所毎に、線の色を運転モード毎に変えて発電所毎の出力変化を表している。

・発電所運転出力パターングラフ



発電所運転出力パターングラフの図を表示します。運転パターン、検討日、発電所名を選択して表示ボタンを押すと選択した運転パターン、検討日、発電所名での結果が表示されます。

このグラフは検討日（流況）毎および発電所毎に作成されるもので、横軸に運用時間、縦軸に発電出力(kW)をとって、１日の運転パターンを表している。この例では左から貯留時、ピーク時、自流時の発電出力を表している。

１４．経済性評価システム

※経済性評価については、「マニュアル：第６章経済性評価」参照

[入力データ]

・経済性設定データ

有効出力のデータが必要になるため、ここではまず容量設定データ読込みを行ってください。その後、運転パターンデータ読込みを行って発電所データを読込んでください。新規地点における発電計画の評価を表示したいときは「行う」にチェックをいれてください。全ての入力項目に入力して入力後適用ボタンを押すと算定結果が表示できるようになります。

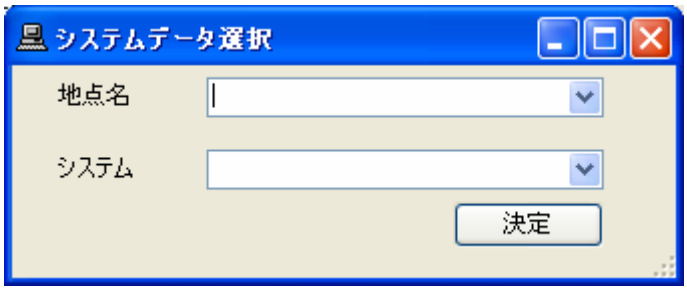
なお、容量設定システムデータ読込みボタンを押すと以下に表示するダイアログが表示されます。

地点名を選択するとその地点にあるシステムが選択できます。ここでは地下調整池容量設定システムを選択してください。決定ボタンを押すと選択したシステムのピーク運転時間、８月Ｌ５流量のデータが入力されます。

運転パターンデータ読込みボタンを押すと以下に表示するダイアログが表示されます。

地点名を選択するとその地点にあるシステムが選択できます。ここでは運転パターン選定システムを選択してください。決定ボタンを押すと選択したシステムのデータと発電所名が入力されます。

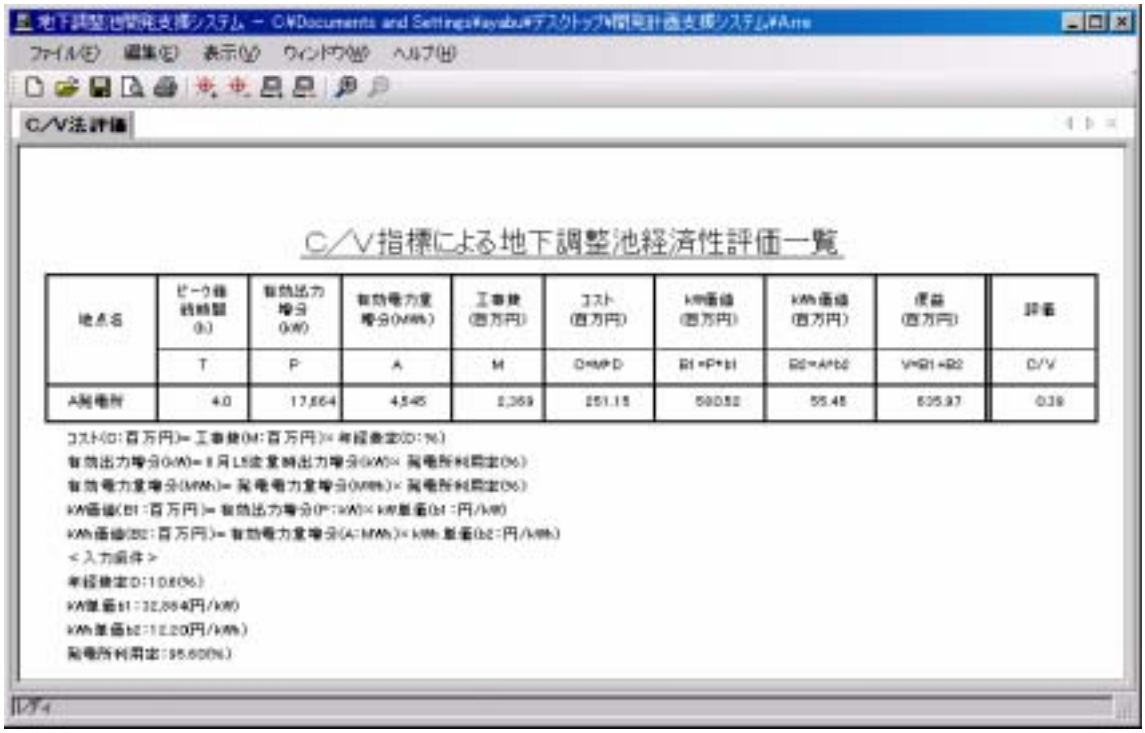
工事費算定データ読込みボタンを押すと以下に表示するダイアログが表示されます。



地点名を選択するとその地点にあるシステムが選択できます。ここでは工事費算定システムを選択してください。決定ボタンを押すと選択したシステムの工事費のデータが入力されます。

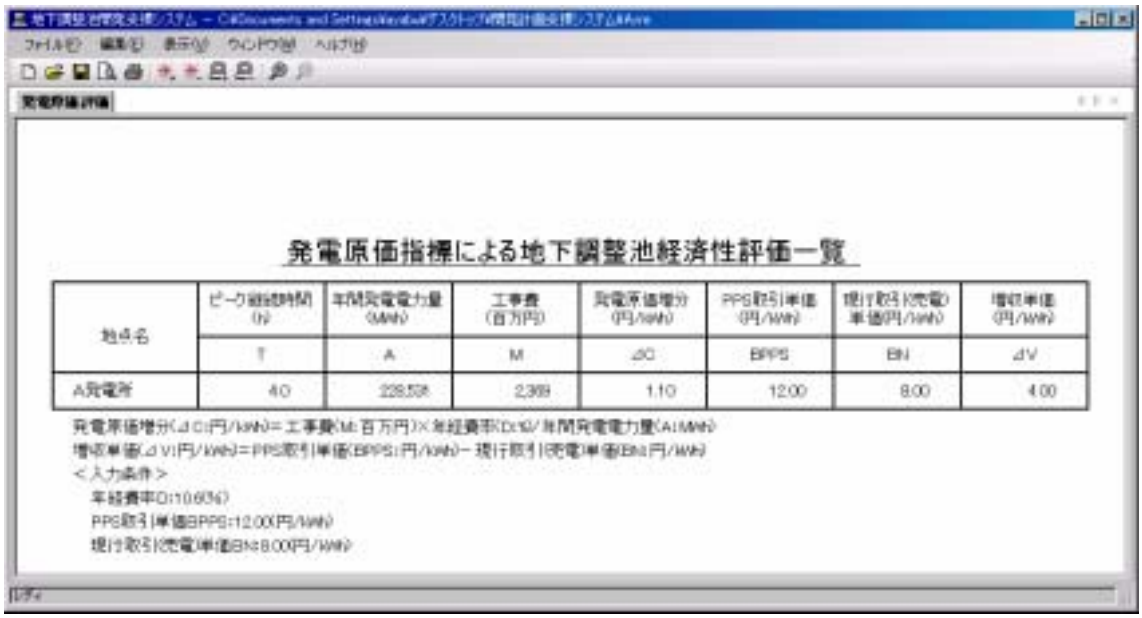
[算定結果]

・Ｃ／Ｖ法評価



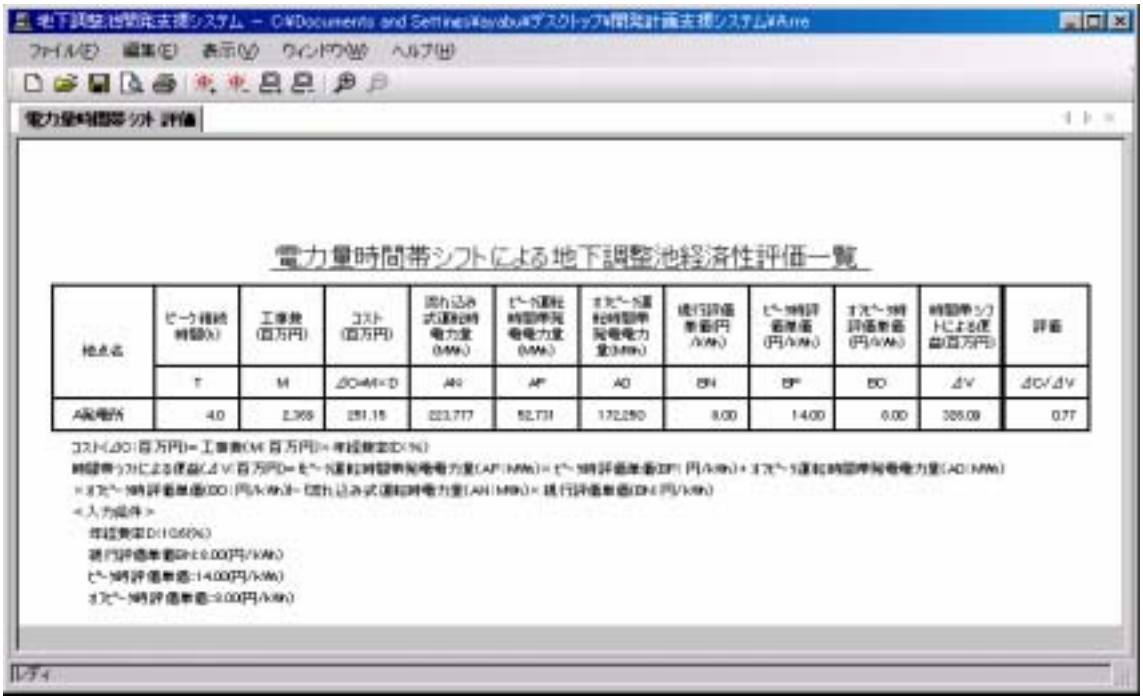
Ｃ／Ｖ指標による地下調整池経済性評価一覧が表示されます。

・発電原価評価



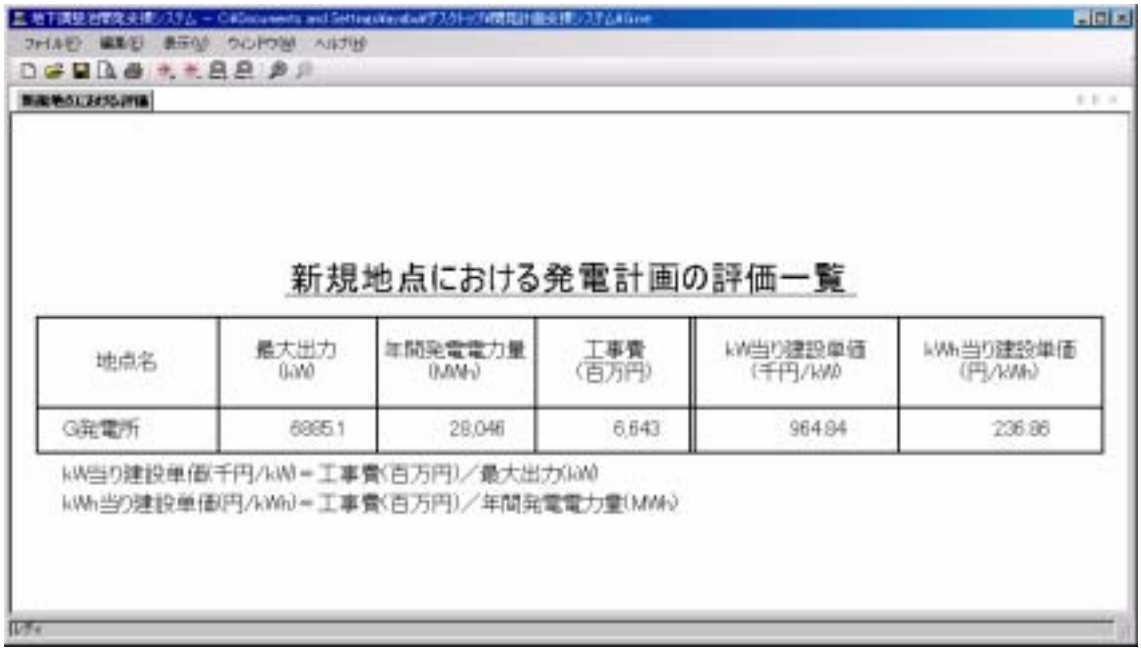
発電原価指標による地下調整池経済性評価一覧が表示されます。

・電力量時間帯ｼﾌﾄ効果



電力量時間帯シフトによる地下調整池経済性評価一覧が表示されます。

・新規地点における評価



新規地点における発電計画の評価一覧が表示されます。